



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



**MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM PIVÔ CENTRAL NA REGIÃO DE CANINDEYÚ -
PARAGUAI**

ALISSON HENRIQUE MACCAGNAN

ORIENTADOR: Prof. Dr. ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA

RELATÓRIO DE CONCLUSÃO DE CURSO
AGRONOMIA

Florianópolis

Julho, 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM PIVÔ CENTRAL NA REGIÃO DE CANINDEYÚ -
PARAGUAI

Alisson Henrique Maccagnan

Florianópolis

Julho, 2013

ALISSON HENRIQUE MACCAGNAN

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM PIVÔ CENTRAL NA REGIÃO DE CANINDEYÚ -
PARAGUAI**

Relatório de conclusão de curso
apresentado como requisito final
para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo pela
Universidade Federal de Santa
Catarina.

Florianópolis - SC

2013

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO EM PIVÔ CENTRAL NA REGIÃO DE CANINDEYÚ -
PARAGUAI**

Por

Alisson Henrique Maccagnan

**Relatório de conclusão de curso aprovado como requisito final para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo pela Comissão formada por:**

Orientador:

Prof. Dr. Aberto Kazushi Nagaoka

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antonio Augusto Alves Pereira

Eng. Agr. Gustavo de David

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, João e Porfíria pelo exemplo de caráter, sempre me apoiaram para que eu pudesse realizar os meus sonhos.

A minha namorada Denise Castagnaro pelo amor, união e companheirismo.

Aos meus irmãos Clayton e Everton por fazerem parte da minha construção pessoal.

Ao orientador Prof. Dr. Alberto Kazushi Nagaoka pelo exemplo profissional e pelo apoio na construção deste trabalho.

Ao Supervisor Eng. Agr. Luis Pedro Saccol Fross pela oportunidade e apoio durante o estágio.

À Ciabay S.A, pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal.

Ao João Carlos Schardong Júnior pela confiança e suporte durante a realização do estágio.

Aos amigos Diogo, Paulo, Denise, Grazi, Maria e Bárbara que me acompanharam e incentivaram durante todos os anos de faculdade.

Aos colegas Agenor, Antônio, Bernardo, Bruno, Darci, Henrique, Jeferson, Jefferson e Mauro pela agradável companhia e valiosa troca de experiências e de conhecimentos.

A todos aqueles que de maneira direta ou indireta auxiliaram na elaboração deste trabalho.

RESUMO

O estágio realizado na empresa Ciabay S.A. localizada no Paraguay, departamento do Alto Paraná, município de Hernandarias, teve por objetivo acompanhar a implantação de um sistema de manejo e monitoramento de irrigação, denominado Sistema Irriga®. Esse sistema abrange um conjunto de serviços tecnológicos que determina de forma prática e eficiente, através de dados de clima, solo, planta e equipamento de irrigação, quando e quanto irrigar. Durante o estágio, também foram realizados outros trabalhos diretamente relacionados com irrigação, como um ensaio para determinar a uniformidade de distribuição de água de um pivô central, além do acompanhamento no atendimento aos clientes da empresa em feiras de exposições e na elaboração de projetos. A agricultura paraguaia tornou-se mundialmente uma das principais fornecedoras de commodities, utilizando as melhores técnicas e maquinários visando à alta produtividade, atualmente é destaque na produção de soja e milho. Nas distintas regiões deste país a distribuição das chuvas é bastante irregular, o que ocasiona períodos de seca bem marcados, porém, a oferta de água, seja em superfície (rios, lagos, represas, etc.) ou subterrânea é abundante e disponível e a aplicação desta em irrigação nas áreas de produção, vem sendo uma estratégia importante para os anos de estiagem. Uma vez implantado o equipamento de irrigação, o produtor necessita de uma estratégia de manejo de água que defina, em bases racionais, o momento certo e a quantidade de água adequada para atender às necessidades hídricas da cultura. Partindo do exposto, é fundamental a definição do momento das irrigações, pois a aplicação de água no momento correto é um fator fundamental para o sucesso do empreendimento.

Palavras-chave: água, solo, uniformidade.

ABSTRACT

The trainee was performed in Ciabay S.A. company located in Paraguay, Alto Paraná department, municipality of Hernandarias, has as goal follow the implementation of a system for monitoring and management of irrigation, called Sistema Irriga®. This system covers a set of technological services that provides a practical and efficient, through data of climate, soil, plant, and irrigation equipment, when and how much to irrigate. Were also held other activities directly related with irrigation, as a test to determine the uniformity of water distribution of center pivot, and helping in attending of customers of the company in exhibitions fairs and in the preparation of projects. The Paraguayan Agriculture became one of the major supplier of commodities to the world, using the best techniques and machinery aiming at high productivity, is currently a reference in the production of soybeans and corn. In different regions of the country rainfall distribution is very irregular, which causes dry periods well marked however, the supply of water, whether surface (rivers, lakes, dams, etc...) or groundwater is plentiful and available and the application of irrigation in the areas of production, has been an important strategy for the years of drought. Once deployed irrigation equipment, the producer needs a strategy for water management to define, on a rational basis, the timing and amount of water adequate to meet crop water requirements. Based on the foregoing, it is essential to define the moment of irrigation because the water application at the right time is one of the most important factors for the success of the production.

Key-words: water, soil, uniformity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação Regional	2
1.2 Descrição da Empresa.....	4
2. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo Geral	6
2.2 Objetivos Específicos	6
3. REFERENCIAL TEÓRICO	7
3.1 Irrigação.....	7
3.1.2 Benefícios da irrigação.....	9
3.1.3 As demandas da irrigação.....	10
3.2 Pivô Central.....	11
3.3 Sistema Irriga®	13
3.5 Atributos Físico-hídricos do solo	17
3.5.1 Textura	18
3.5.2 Porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e densidade de partículas	19
3.5.3 Curva característica de retenção de água no solo.....	19
3.6 Aspectos climáticos	21
3.6.1 Estações meteorológicas	21
3.6.2 Radiação solar	22
3.6.3 Temperatura.....	23
3.6.4 Umidade relativa do ar	23
3.6.5 Velocidade do vento.....	23
3.6.6 Precipitação pluviométrica	23
3.6.7 Evapotranspiração	24
3.6.8 Coeficiente de cultura.....	25
3.7 Distribuição uniforme de água	26
4. ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O ESTÁGIO	29
4.1. Curso Sobre o Sistema Irriga®	29
4.2 Implantação do Sistema Irriga® no Paraguai	30
4.3 Participação no atendimento aos clientes em feiras de exposição	39
4.4 Determinação da uniformidade de distribuição de água.....	41
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados Técnicos da área monitorada.....	36
Tabela 2. Relatório de visitas técnicas.....	36
Tabela 3. Médias mensais dos dados da estação Santa Mariana.....	38
Tabela 4. Registro de precipitações.....	39
Tabela 5. Características do Pivô Central analisado.....	42
Tabela 6. Condições meteorológicas no momento do ensaio.....	45
Tabela 7. Resultados obtidos através da interpolação de valores.....	46
Tabela 8. Classificação da uniformidade de distribuição de água em pivô central de acordo com a norma NBR 14244 (1998) da ABNT.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sucursal da empresa Ciabay S.A, localizada em Hernandarias	2
Figura 2. Aula prática sobre coleta de amostras de solo.....	29
Figura 3. Estação meteorológica automática instalada na fazenda Santa Mariana.	32
Figura 4. Pluviômetros instalados na base do pivô.	33
Figura 5. Coleta das amostras de solo com anéis coletores.	35
Figura 6. Equipamento utilizado para verificação da umidade do solo.....	37
Figura 7. Escritório do departamento de irrigação - Expo Canindeyú.	40
Figura 8. Espaço para divulgação dos equipamentos e serviços de irrigação - Expo Santa Rita.	41
Figura 9. Local da realização da análise.	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva característica de água no solo.	21
Gráfico 2. Perfil de distribuição de água ao longo do raio do pivô (2013).	48
Gráfico 3. Perfil de elevação do terreno ao longo do raio do pivô (2013).....	49

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório expõe as atividades realizadas no decorrer do período de Estágio de Conclusão do curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O estágio foi realizado em uma das maiores empresas do Agronegócio Paraguaio, a Ciabay S.A. Com diversas filiais distribuídas pelo país, o estágio teve predominância na filial situada em Hernandarias, distrito pertencente ao estado do Alto Paraná, Paraguai, situado a 30 km de Foz do Iguaçu, Brasil.

Este estágio ocorreu no primeiro semestre do ano de 2013, no período que compreende as datas de 04 de fevereiro a 01 de junho, sob a supervisão do Eng. Agrônomo Luis Pedro Saccol Fross e orientação acadêmica do professor Dr. Engenheiro Agrícola Alberto Kazushi Nagaoka da Universidade Federal de Santa Catarina. A empresa Ciabay forneceu todos os requisitos necessários para a realização do estágio, como alimentação, transporte e hospedagem.

Mundialmente, a Agricultura Paraguaia tornou-se uma das grandes fornecedoras de commodities, utilizando as melhores técnicas e maquinários visando à alta produtividade, atualmente é destaque na produção de soja e milho. A Ciabay S.A é uma empresa agrícola com forte atuação no Paraguai, especializada em importação e revenda de máquinas agrícolas, implementos e insumos. A partir de 2010 tornou-se uma das representantes Valley no Paraguai, sendo atualmente referência em projetos e equipamentos de irrigação nas principais regiões produtoras deste país. Ao se verificar a dificuldade dos produtores no manejo de seus equipamentos de irrigação, a Ciabay buscou a mais completa tecnologia em manejo de irrigação do Brasil, o Sistema Irriga®, tornando parceiro comercial em 2012.

O manejo de irrigação possui importância fundamental para a sociedade como um todo, sendo no racionamento de água e energia ou no aumento de produtividade e garantia de produção. Por ser de extrema relevância e de difícil interpretação, pela demanda de pesquisas em manejo do solo, planta e equipamento de irrigação, a adoção de um sistema eficaz e profissionais

capacitados é fundamental para a fixação desta atividade nas áreas produtoras de modo geral.

No Paraguai, o Sistema Irriga® teve sua primeira área monitorada, no Departamento de Canindeyú, município de La Paloma del Espíritu Santo, fazenda Santa Mariana. Foi monitorada uma área de 102 hectares irrigadas por pivô central em uma cultura de soja. O início do monitoramento ocorreu a partir do dia 29 de janeiro de 2013 e estendeu-se até o fim do ciclo da cultura, dia 21 de abril de 2013.



Figura 1. Sucursal da empresa Ciabay S.A., localizada em Hernandarias. Fonte: Registro fotográfico do autor, 2013.

1.1 Apresentação Regional

O Paraguai é um país, sobretudo agropecuário, que, além da produção destinada ao mercado interno, destaca-se com produtos destinados à exportação, tais como madeiras, tanino, erva-mate, algodão e, atualmente, a soja. O setor agropecuário responde por 50% do emprego no país e contribui com 27% do

Produto Interno Bruto (PIB), deste montante, 60% referem-se aos produtos agrícolas, 30% à pecuária e 10% à extração florestal (BRACAGLIOLI NETO, 1991). O país é caracterizado pela grande concentração da propriedade da terra sob o direito de poucas pessoas, sendo que os estabelecimentos destinados à agricultura familiar representam 80% do total, mas detêm apenas 6,2% da área, essa concentração aumenta na medida em que o processo de produção das commodities se aproxima, expropriando camponeses e populações indígenas, acirrando, portanto, o processo de luta pela terra (DOMÍNGUES & SABATINO, 2008). A economia Paraguaia cresceu rapidamente entre os anos de 2003 e 2008 em decorrência da forte demanda mundial por commodities, aliado ao preço elevado destas e às condições favoráveis de clima. A economia caiu 3,8% em 2009 devido à baixa demanda e à recessão nos preços das commodities. Em 2010, o governo reagiu adotando pacotes de estímulos fiscal e monetário, com isso obteve o maior crescimento da América do Sul com 13% porém, em 2011, os estímulos diminuíram e a economia regrediu 4%. Em 2012, uma grave seca e surtos de febre aftosa levou o país a uma queda na exportação de carne bovina e de outras exportações agrícolas e a economia contraiu-se cerca de 0,5%. De acordo com a Pricewaterhouse Coopers, citado por Mercopress (2013), a economia paraguaia está pronta para expandir 11,3% em 2013 apoiada pela forte recuperação da agricultura, uma estimativa muito mais otimista do que os 9,5% do orçamento do governo. Atualmente o Paraguai é o quarto maior exportador de soja do mundo, atrás somente dos Estados Unidos, Brasil e Argentina. Incertezas políticas, corrupção, progressos limitados nas reformas estruturais e infraestrutura deficiente são os principais obstáculos para o crescimento em longo prazo (FACTBOOK, 2013b).

Segundo Simon Romero (2013), grande parte do Paraguai, que há muito tempo figurou entre as nações mais pobres e mais desiguais da América do Sul, continua a ser deixado para trás. Mais de 30% da população vive em situação de pobreza e o país está entre os últimos países sul-americanos na redução da pobreza na última década, de acordo com as Nações Unidas.

Nas distintas regiões do Paraguai a distribuição das chuvas é bastante irregular, o que ocasiona períodos de seca bem marcados. Os departamentos de

San Pedro, Concepción e Amambay são os que mais necessitam irrigação, por possuírem solos franco-arenosos a arenosos, o que dificulta a armazenagem de água no solo. A oferta de água para irrigação seja em superfície (rios, lagos, represas, etc.) ou subterrânea é abundante e disponível (SCIOLLA, 2013).

Segundo Avina (2010), o Paraguai possui terras férteis, recursos hídricos abundantes, estabilidade macro-econômica, energia limpa, uma população jovem (60% da população tem menos de 30 anos), baixo nível de endividamento externo e ausência quase total de acidentes geográficos e desastres naturais.

1.2 Descrição da Empresa

Desde sua fundação em 1996, a Comercial e Industrial Amambay S.A - Ciabay S.A buscou representar as melhores marcas, englobando toda a gama de produtos do setor agrícola. Com 17 anos no mercado, a empresa tornou-se uma das maiores importadoras de maquinários agrícolas do Paraguai. A realização do acompanhamento pós-venda com clientes e a qualidade dos produtos oferecidos fizeram da Ciabay S.A referência no mercado agrícola paraguaio. Possui como visão ser por excelência a empresa mais completa em soluções, tecnologia e atendimento ao agronegócio, destacando o capital humano, o relacionamento com os clientes e fornecedores. Fato este que trouxe a empresa o prêmio de melhor mecânica da América Latina, cedido por CASE IH.

A Ciabay S.A conta, atualmente, com a Matriz da empresa localizada em Hernandarias e outras cinco filiais distribuídas em regiões estratégicas do País, situadas em: Ciudad del este, San Alberto, Katuete, Santa Rita e Bella Vista, além de uma nova filial em construção em Santa Rosa del Aguaray. Possui 370 colaboradores entre brasileiros e paraguaios e uma frota com 180 veículos.

A missão da Ciabay S.A é estender ao homem do campo a segurança, assistência, companherismo e fidelidade de cada atitude da empresa, que tem como foco o crescimento conjunto dentro de sua história, destacando a honestidade e o caráter.

No segmento de agricultura de precisão, trabalha fornecendo os produtos das marcas Hemisphere-GPS, Dickey-john e Falker, além dos equipamentos de irrigação Valley e bombas Imbil. É fornecedora dos agroquímicos: Agrocete; Fertipar; Serrana e Bayer CropScience. Na linha de implementos agrícolas é representante das empresas: Tatu Marchesan; Jacto e Vence tudo. Entre tratores e colhedoras, trabalha com as marcas: New Holland e Case IH. Além disso, fornece produtos de reposição das marcas: Gates; Akcela e Ambra.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo acompanhar os processos de implantação de um sistema de manejo de irrigação sob pivô central.

2.2 Objetivos Específicos

- Acompanhar a implantação da tecnologia Sistema Irriga® em uma área de 102 hectares em cultivo de soja sob irrigação por pivô central;
- Realizar visitas técnicas para o acompanhamento da área monitorada;
- Realizar instalação de estações meteorológicas;
- Análise da distribuição de água através de ensaios - coeficientes de uniformidade;
- Acompanhamento no atendimento aos clientes da Ciabay S.A em feiras de exposição.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Irrigação

Denomina-se irrigação o conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água no tempo ou no espaço para modificar as possibilidades agrícolas de cada região, visando corrigir a distribuição natural das chuvas (LIMA et al., 2008). O maior consumidor de água do planeta atualmente é setor agropecuário. Estima-se que 70% do uso da água é referente a agricultura irrigada, sendo esta a atividade humana que demanda a maior quantidade deste recurso. Nos países em desenvolvimento este valor pode chegar até 95%, causando conflitos em relação aos demais usos da água (FAO, 2007). O restante é dividido em 20% para a indústria e 10% para uso doméstico. De acordo com Tucci (2009), no Brasil, estes valores correspondem a 68% para a irrigação, 14% para a indústria e 18% ao abastecimento da população. Segundo estudo realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais, citado por (LIMA et al., 2008), se a irrigação fosse utilizada de forma racional, aproximadamente 20% da água e 30% da energia consumidas seriam economizadas; sendo 20% da energia economizada devido à aplicação desnecessária da água e 10% devido ao redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados para a irrigação.

Segundo Lacerda et al. (2007) a irrigação só é rentável e sustentável, se realizada de forma adequada, através de técnicas que maximizem a eficiência do uso da terra e da água, promovendo assim, a redução de custos operacionais e impactos ambientais. Irrigação é basicamente uma operação agrícola, suprimindo a necessidade de água da planta, não funciona em separado, mas sim integrada com outras operações agrícolas, de forma benéfica ou prejudicial, dependendo de como é manejada (WITHERS & VIPOND, 1977). O aumento do custo da terra, aliado ao considerável capital necessário à exploração agrícola, não permite mais que a produção final dependa da ocorrência ou não de um regime de precipitação adequado. Assim sendo, a nova tendência do meio empresarial agrícola tem sido a de aumento do interesse pela prática da irrigação, que, além de reduzir riscos,

proporciona outras vantagens significativas ao produtor irrigante. (LIMA et al., 2008).

3.1.1 Panorama mundial da irrigação

Estima-se que a área irrigada no mundo ocupe cerca de 17% de toda a terra agricultável e responda pela produção de mais de 40% de todo o alimento consumido. A área irrigada mundialmente equivale a quase 2,5 vezes a produção de alimentos das áreas de sequeiro (PAULINO et al., 2011). A precipitação na região da América Latina e do Caribe é da ordem de $1.500 \text{ mm ano}^{-1}$, sendo 50% superior à média mundial; mas, dois terços do volume escoado (aproximadamente 8.660 km^3) concentra-se em três bacias hidrográficas (Orinoco, Amazonas e Rio da Prata). Apesar disso, 25% das áreas da região são áridas ou semi-áridas, em consequência da desuniformidade da distribuição das precipitações (FOLEGATTI et al., 2011).

Poucos são as fontes de dados sobre o panorama da irrigação no Paraguai. Segundo dados da FAO (2007), o Paraguai possui apenas 67.000 hectares irrigados. O valor estimado da área irrigada no Brasil em 2010 foi de 5,4 milhões de hectares, 20% superior ao estimado para 2006 e apresentado no Informe da ANA de 2011. A irrigação é sabidamente o maior usuário de água no Brasil e a estimativa da área irrigável é da ordem de 29,6 milhões de hectares (ANA, 2012). No Brasil, cada hectare irrigado equivale a três hectares de sequeiro em produtividade física e a sete em produtividade econômica (ANA, 2004).

Segundo Mukherjee et al. (2009), 80% dos produtos necessários para satisfazer as necessidades da população mundial, nos próximos 25 anos, serão providos pelos cultivos irrigados. O Brasil assume o 16º lugar entre os países com maior área irrigada no mundo, detendo quase 2% da área mundial irrigada, que representa cerca de 277 milhões de hectares (ANA, 2012). Já o Paraguai, figura na 98º posição no ranking mundial de área irrigada (FACTBOOK, 2013a).

3.1.2 Benefícios da irrigação

O crescimento populacional e a consequente demanda por alimentos têm forçado a expansão das fronteiras agrícolas, muitas vezes estabelecendo a agricultura em áreas impróprias para o cultivo e assim, causando degradação ambiental em grande escala (RODRIGUES, 2001).

A irrigação permite a oferta de alguns produtos durante quase todo o ano. O uso da irrigação, como presença controlada de água na produção agrícola, permite ao agricultor ampliar o número de safras, passando a cultivar em diferentes épocas ou estações e tendo a possibilidade de colheitas na entressafra. Este tipo de cultivo pode melhorar a lucratividade da produção pela remuneração extra que se obtém colocando o produto no mercado no momento de falta do mesmo (TESTEZLAF et al., 2002).

Outro benefício apontado está relacionado à aplicação de fertilizantes através da água, comumente chamada de Fertirrigação. Hernandez (1994) cita que dentre as vantagens da fertirrigação destacam-se a economia em mão-de-obra, energia, diminuição na compactação do solo, distribuição do fertilizante e melhor utilização dos equipamentos de irrigação.

Apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos. Estima-se que, a nível mundial, no ano de 2020 os índices de consumo de água para a produção agrícola sejam mais elevados na América do Sul, África e Austrália. Pode-se prever um incremento maior da produção agrícola no Hemisfério Sul, especialmente pela possibilidade de elevação da intensidade de uso do solo que, sob irrigação, produz até três cultivos por ano (PAZ et al., 2000).

Na agricultura de sequeiro, o risco de ocorrência de um período de estiagem nos períodos críticos da lavoura está sempre presente, tornando a atividade agrícola um empreendimento com certo grau de incerteza. Por outro lado, com a irrigação esse fator de risco é eliminado, possibilitando aplicação de níveis elevados de insumos para obtenção de produtividade também alta. Possibilita também um melhor planejamento da produção permitindo a realização de contratos entre os produtores, as agroindústrias e os distribuidores (ANA, 2004).

Corretamente aplicada e com metas bem definidas para a assistência técnica, a agricultura irrigada pode ajudar a resolver vários problemas como, por exemplo: escassez de água, pobreza e produção de alimentos, promovendo e otimizando o desenvolvimento regional, gerando divisas e empregos, garantindo a segurança alimentar, aumentando e diversificando a produção, diminuindo os riscos da agricultura e melhorando a qualidade de vida. Entretanto, para que isto ocorra é necessário que haja um planejamento do uso do solo e da água nas diferentes sub-bacias em que é possível irrigar (TUCCI, 2009).

3.1.3 As demandas da irrigação

No último século, a demanda total de água aumentou seis vezes, enquanto que a população cresceu somente três vezes. Ao longo do tempo, a demanda gerada pela água tem diminuído a disponibilidade *per capita* e sua qualidade vem deteriorando criando, assim, conflitos pelo uso da água, uma vez que a água de qualidade inferior não pode ser utilizada livremente para o consumo, a produção ou para o lazer. A matriz energética brasileira (assim como a paraguaia) é dependente da disponibilidade hídrica. Caso a tendência observada de mudanças climáticas se confirme nos próximos anos, por possuir uma matriz fortemente dependente dos fatores hidrológicos, poderá ser beneficiado ou prejudicado em função das futuras oscilações que possam vir ocorrer (TUCCI, 2009).

A irrigação é uma das técnicas responsáveis por grande parte do consumo de energia elétrica no meio rural. Diante da possibilidade de escassez de energia, procura-se racionalizar o seu uso, utilizando a água de forma mais eficiente na irrigação (RIZZATTI, 2007).

Atualmente, a irrigação é praticada em 17% das áreas aráveis do planeta, produzindo 40% dos alimentos do mundo e utilizando ao redor de 70% de todas as águas retiradas dos corpos d'água do planeta. Estima-se que para garantir as demandas de alimentos, a área irrigada deve crescer entre 20% e 30% até o ano 2025 (NUNES, 2001).

Para muitas pessoas, a irrigação é tida como muito custosa e, portanto, financeira e economicamente questionável pelos baixos preços dos produtos nos mercados internacionais. Jones (1995) mostrou que os projetos de irrigação produziram, num todo, taxas de retorno econômico positivas, em média 15% maior que o custo de oportunidade do capital e maior que a média de outros projetos agrícolas sem irrigação (FOLEGATTI et al., 2011).

O primeiro passo para se planejar um sistema de irrigação é saber se a propriedade dispõe de uma fonte de suprimento de água em quantidade e qualidade para atender a demanda do projeto (ANA, 2004). O período de maior demanda é o período em que ocorre a maior necessidade de irrigação, em termos de quantidade de água. Este é o período mais importante para as tomadas de decisão sobre o parcelamento da área e os equipamentos que devem ser utilizados. Neste período ocorre o pico de vazão da irrigação e é para esta situação que devem ser escolhidas as tubulações, bombas, motores e demais estruturas e equipamentos que sejam necessários para a irrigação (TIMM et al., 2007).

Assim, a escolha do método de irrigação deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica do projeto e nos seus benefícios sociais, considerando, impreterivelmente, pontos como uniformidade da superfície do solo, tipo de solo, quantidade e qualidade da água, clima, cultura e manejo da irrigação (BERNARDO, 2006), a fim de que os impactos ambientais sejam mínimos, e o retorno sócio-econômico maximizado.

3.2 Pivô Central

O pivô central é um sistema de movimentação mecânica, constituído de uma lateral móvel, com vários aspersores, suspensa por torres sobre rodas, que irriga uma área circular através da rotação da linha lateral de aspersão em torno de um ponto fixo. A parte da lateral móvel que se estende além da última torre é denominada lance em balanço e algumas vezes é dotada de um canhão final. Nos pivôs dotados de canhão final é comum a instalação de uma bomba de

reforço ou booster, que eleva a pressão da água aplicada pelo canhão final (COLOMBO, 2003). A velocidade de caminhamento do equipamento é regulada atuando-se sobre o motorreductor da torre final, fazendo-o funcionar em frações de minuto, avançando de maneira intermitente sobre o terreno, exceto quando o relê está a 100%, quando o funcionamento é contínuo e a torre final se desloca a velocidades que variam de 110 a 428 m.h⁻¹. (MARTIN et al., 2007; TARJUELO, 1995; CUENCA, 1989; NEW & FIPPS, 1995).

O sistema de irrigação por pivô central é um dos mais utilizados na agricultura moderna, por ser mecanizado e automatizado. Este processo baseia-se em disponibilizar água para a planta, mantendo a umidade adequada do solo para manejo agrícola (REZENDE et al., 1998).

Segundo Rodrigues et al. (2001), a irrigação por pivô central tem se expandido de forma mais significativa no Brasil, em especial nas regiões sudeste e centro-oeste, devido à alta uniformidade de distribuição da água quando bem dimensionado e com boa manutenção, fácil controle da lâmina d'água aplicada, menor dispêndio de mão de obra, marketing e possibilidade de fertirrigação e quimigação, além de se ter sempre livre as áreas para tratos culturais.

Em 1948 o sistema de irrigação “auto-propelido”, como nomeado primeiramente por Frank Zymbach (seu inventor), transformou a irrigação de maneira a torná-la viável em áreas antes consideradas impróprias a esta prática. Mesmo que o equipamento tenha passado por inúmeras mudanças, seu conceito básico ainda é utilizado. A irrigação por pivô central começou a consolidar-se a partir de 1961, sendo que, em 1973 já eram irrigados cerca de 800.000 ha por este sistema nos EUA. Atualmente seu uso está bem difundido, são mais de quatro milhões de hectares irrigados por este sistema. (COELHO, 2007; MARTIN et al., 2007; BERNARDO et al., 2006).

As características de caminhamento do sistema fazem com que os bocais presentes no final da lateral se movam a velocidades muito maiores daquelas observadas nas proximidades do centro da área irrigada, sendo necessárias considerações especiais quanto ao *design* do sistema, para que sejam aplicadas as mesmas lâminas em todo o seu comprimento. A intensidade de aplicação cresce do centro até a extremidade, sendo que cada metro de lateral deve irrigar

áreas cada vez maiores durante o mesmo tempo (tempo de revolução), mantendo a mesma lâmina (CUENCA, 1989; TARJUELO, 1995).

Como vantagens dos pivôs centrais são citadas: (i) operação automatizada, podendo ser acionado remotamente; (ii) habilidade de aplicar pequenas lâminas de irrigação; (iii) alta uniformidade de aplicação; (iv) possibilidade de se aplicar agroquímicos através da água de irrigação, e; (v) pouca necessidade de manutenção anual. Podem ser citadas como desvantagens do sistema: (a) custo inicial; (b) alta intensidade de aplicação, especialmente no final da linha lateral, e; (c) padrão circular, irrigando aproximadamente 80% de um campo quadrado (MARTIN et al., 2007).

3.3 Sistema Irriga®

Sistema Irriga® é um conjunto de serviços tecnológicos, de manejo e monitoramento da irrigação, criado por uma equipe de pesquisadores da Universidade Federal de Santa Maria e continua em constante atualização. Surgiu da percepção de que os produtores irrigantes não possuíam uma ferramenta que determinasse de forma prática e eficiente, quando e quanto irrigar. A atuação do programa no campo iniciou no ano de 1999, em forma de projeto piloto, no monitoramento de 540 hectares (ha) de milho no município de Cruz Alta, no Rio Grande do Sul. O Sistema se expandiu rapidamente, atuando no monitoramento de mais de 30.000 hectares em 2004. A estrutura atual possibilita monitorar uma área irrigada de mais de 200.000 ha. O principal objetivo do Sistema Irriga® foi desenvolver um sistema de manejo de irrigação prático, funcional e facilmente aplicável no campo. A determinação de quando irrigar e quanto de água aplicar é denominada de Programação de Irrigação. O principal objetivo dessa programação é o manejo das irrigações visando a uma maior efetividade das mesmas, ou seja, proporcionar as melhores condições possíveis às plantas em termos de irrigação. No servidor do sistema, as informações meteorológicas coletadas pelas estações meteorológicas conveniadas são cruzadas com as de clima, solo, planta e equipamento de irrigação e, então, é processada a

recomendação de irrigação. Os agricultores, usuários do Irriga®, acessam o sistema através de um dos endereços na Internet (www.irriga.proj.ufsm.br, www.irrigabem.com.br ou www.sistemairriga.com.br). Cada usuário possui um login e uma senha, através do qual pode encontrar as informações detalhadas sobre o manejo da irrigação de suas áreas. O único dado que fica sob responsabilidade do produtor é colocar dentro da página do sistema a quantidade de precipitação ocorrida na área. Os produtores que não possuem internet na propriedade podem solicitar que a recomendação de irrigação seja transmitida através do telefone celular. Neste caso, os produtores devem cadastrar o número do telefone e irão receber a recomendação via mensagem de texto (SMS). Durante o período de contratação do serviço, é prestada assistência técnica através de visitas quinzenais de engenheiros agrônomos que atuam junto ao programa. Nas visitas, os técnicos determinam a umidade do solo, a fase fenológica em que a cultura se encontra, a altura e a população de plantas, área foliar, profundidade do sistema radicular, além de observar os aspectos fitossanitários da cultura, presença de invasoras e condições nutricionais das plantas. O objetivo é verificar se as condições esperadas pelo sistema condizem com as da lavoura a campo. O Sistema Irriga® apresenta um espectro amplo de culturas que já possuem informações suficientes para serem monitoradas, tais como: abóbora, alfaça, algodão, alho, arroz, batata, brachiária, café, cebola, cenoura, cevada, ervilha, feijão, girassol, maçã, milho, milho doce, milho pipoca, milheto, pêra, pêssego, soja, sorgo, tomate, trigo e uva, entre outras que estão em fase de pesquisa. A Pioneer Sementes Ltda., maior empresa de sementes do mundo, foi usuária do Sistema Irriga® desde o seu início, fato que contribuiu positivamente para o estabelecimento dessa parceria. Os produtores de milho semente da marca Pioneer devem, obrigatoriamente, utilizar os serviços do Sistema Irriga® para minimizar os riscos e aumentar a eficiência produtiva. Isso porque a empresa necessita ter garantias de que irá receber uma quantidade mínima de sementes para comercializar na safra subsequente, não podendo correr o risco de ficar sem o produto devido a intempéries climáticas (VIERO, 2009).

3.4 Manejo de irrigação

Os questionamentos de quanto e quando irrigar expressa a ideia central do conceito de manejo de irrigação, que, por definição geral, nada mais é do que a aplicação de procedimentos e medidas que permitam estabelecer a quantidade e o momento exato de aplicação da água para suprir a demanda hídrica das culturas (ZAMBERLAN & ZAMBERLAN, 2011). Esta definição de quando e quanto irrigar, segundo Mantovani et al. (2006), deve estar integrado a um panorama mais amplo dentro do processo decisório, onde o autor propõe que se avalie o sistema de irrigação, sua eficiência, seu ajuste, fertirrigação, aspectos intrínsecos da cultura, condições do clima, do solo e da água.

A determinação da lâmina bruta que é função da lâmina líquida e das perdas e ou eficiência do sistema tem um determinado custo de aplicação, e este deve ser admitido conjuntamente aos demais fatores na hora da tomada de decisão de quando e quanto irrigar. Considerando-se que, de toda água utilizada no mundo, 70% destina-se à irrigação (SENTELHAS, 2001), é relevante que se evite ao máximo o desperdício desse importante recurso natural, sendo que os aspectos relacionados ao fornecimento adequado de água às plantas vêm assumindo grande parte das pesquisas sobre agricultura irrigada. Do ponto de vista do manejo de água nos sistemas irrigados, é fundamental a definição do momento das irrigações, pois a aplicação de água no momento certo é um dos fatores mais importantes para o sucesso do empreendimento (RIZZATTI, 2007).

O alto custo de implantação dos sistemas de irrigação, aliado à relação direta existente entre o custo de operação e a quantidade e disponibilidade de água a ser aplicada, conduz cada vez mais à necessidade de aperfeiçoar tanto o uso da água através do manejo adequado da irrigação, quanto os demais insumos de produção (CORDEIRO, 2006).

Uma vez implantado o equipamento de irrigação, de acordo com Silva et al. (1998), o produtor necessita de uma estratégia de manejo de água que defina, em bases racionais, o momento certo e a quantidade de água adequada para atender às necessidades hídricas da cultura. É comum entre os produtores a avaliação visual do momento de se fazer a irrigação, sem a utilização de um método de

manejo que possibilite uma definição mais precisa. Jensen (1983) e Sousa et al. (2001), referenciados por Costa (2005), consideraram que entre os fatores que levam os produtores a não adotarem um adequado manejo da irrigação, consta o baixo custo da água de irrigação em relação ao custo de implantação de um programa de manejo. Além disso, a redução da produtividade por atraso ou falta da irrigação e os impactos ambientais provocados pelo mau manejo da água, não costumam ser facilmente reconhecidos e quantificados.

Segundo Bernardo (2006), a implantação de um programa de manejo de irrigação requer conscientização, com visão integrada, tecnologia de ponta e operacionalidade, possibilitando a otimização do uso dos insumos, aumento da produtividade e rentabilidade e ampliação da área irrigada nos locais com limitação dos recursos hídricos, e ainda contribui para uma exploração agrícola sustentável, preservando o meio ambiente pela melhor utilização de água e energia, evitando-se a ocorrência de percolação profunda, acarretando a lixiviação de produtos químicos e consequente contaminação do lençol freático.

Dentre os principais problemas encontrados na agricultura irrigada merecem destaque a baixa taxa de utilização de técnicas de manejo de irrigação, com desperdício de água e energia e a utilização por um grande número de irrigantes de sistemas de produção e de tecnologias desenvolvidas para agricultura de sequeiro (ANA, 2004).

Veronica Viero (2009) em trabalho com tecnologia da informação e comunicação no meio rural brasileiro observou que produtores que possuíam equipamento de irrigação instalado a campo a mais de uma década (alguns há mais de vinte anos) adotaram o Sistema Irriga® assim que tiveram conhecimento da existência do mesmo. Possivelmente por este suprir uma carência que os mesmos percebiam a campo, no que se refere a ser um parâmetro confiável sobre quando e quanto irrigar.

Xevi & Khan (2005) comentam que a incerteza na distribuição da água, questões ambientais e sistema de colheita intensivo requerem uma melhor distribuição sazonal da água, satisfazendo o consumo e a exigência ambiental. Para tanto, é necessário um manejo da demanda da água que considere a

distribuição e perda da água, além de exigências ambientais resultando na produtividade de áreas de irrigação e melhora no manejo dos fluxos do rio.

A ênfase na expansão das áreas irrigadas será em melhoria no manejo e maior controle sobre o uso da água com os equipamentos e tecnologias que permitam o aumento de produtividade e redução dos custos de operação e de manutenção, aumentando a competitividade dos produtos oriundos da agricultura irrigada pela redução do consumo de energia e das perdas de água (CHRISTOFIDIS, 2006).

Krol et al. (2006) verificam pela análise de cenário que a água é um fator muito decisivo, e que uma eficiente e ecologicamente gestão da água é um requisito importante ao desenvolvimento de uma região. Destaca que independente das diferenças entre os cenários de mudança climática, a agricultura de chuva é mais vulnerável a seca do que agricultura irrigada, devido a mudanças de precipitação. Entretanto, a produção irrigada depende da disponibilidade de água dos rios e reservatórios que também é utilizada em outros setores.

De acordo com Lobell & Ortiz-Monasterio (2006), sendo a água um recurso crescentemente escasso, os proprietários precisam de estratégias para otimizar o uso eficiente da água na irrigação, visto que o desempenho de alternativa de sistemas de irrigação dependem de condições heterogêneas e incertas de solo e clima.

3.5 Atributos Físico-hídricos do solo

A água está em constante movimento no solo, entrando ou saindo de um ponto através de processos como percolação, infiltração, evaporação, transpiração, irrigação, chuva e temperatura. O grau de umedecimento do espaço poroso e a energia com que a água está retida pelas partículas do solo influenciam na velocidade com que essa água se deslocará. Enquanto o grau de umedecimento representa o volume de água presente em uma unidade de massa ou volume do solo, a tensão representa o trabalho necessário para remover uma

unidade de água retida. Quanto maior essa tensão, maior o esforço que a planta terá que fazer para absorver a quantidade de água necessária. À medida que o teor de água no solo decresce, a planta tem que produzir solutos com energia e produtos metabólicos que seriam direcionados para a produção, para reduzir o seu potencial de água nas células de absorção procurando manter o fluxo de água a seu favor (Silva et al., 1998). A umidade é um dos principais parâmetros para a determinação da adequação do solo para a realização de uma série de operações. A maior ou menor velocidade, com que o solo reduz sua umidade depende de uma série de fatores, como as características do solo (textura, estrutura, etc.), a cobertura vegetal e o clima (TIMM, 2007).

3.5.1 Textura

De acordo com Araújo et al. (2003), a textura do solo corresponde à proporção relativa em que se encontram os diferentes tamanhos de partículas, em determinada massa de solo. Refere-se, especificamente, às proporções relativas das partículas ou frações de areia, silte e argila na terra fina seca ao ar. Consiste na propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo. Possui grande importância na irrigação, pois tem influência direta na taxa de infiltração de água, na aeração e na capacidade de retenção de água.

O conhecimento sobre a distribuição granulométrica de partículas sólidas é essencial para várias aplicações. Assim, é por meio da análise granulométrica que se determina a textura dos solos, parâmetro fundamental na inferência do potencial de compactação, da disponibilidade de água, da aeração, da condutividade do solo ao ar, à água e ao calor, da infiltração e da redistribuição de água (PREVEDELLO, 1996).

A textura do solo tem grande influência no manejo da irrigação, pois está relacionada com a capacidade de retenção de umidade, a permeabilidade e o seu preparo (KITAMURA et al., 2007).

3.5.2 Porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e densidade de partículas

A porosidade do solo é a propriedade que interfere na aeração, condução e retenção de água, capacidade de penetração e ramificação das raízes no solo e, conseqüentemente, no aproveitamento de água e nutrientes disponíveis (TOGNON, 1991).

A relação entre macro e microporos, em parte, é responsável pela capacidade do solo em reter água e disponibilizá-la às plantas. Além disso, a quantidade de macroporos influencia o crescimento das raízes e a absorção de água e nutrientes por estas. Solos com reduzida macroporosidade induzem um crescimento lateral das raízes, que diminuem seus diâmetros a fim de penetrarem nos poros menores. Por outro lado, em solos excessivamente porosos pode haver um menor contato solo/raiz, reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas raízes, provocando também seu menor desenvolvimento (BEUTLER & CENTURION, 2003).

A densidade do solo é definida como a relação entre a massa seca e um determinado volume. Assim, essa variável está relacionada com a estrutura e, conseqüentemente, com a compactação do solo. Valores comuns de densidade do solo ficam entre 0,95 e 1,8 mg.m⁻³. A tendência é um aumento nos pontos mais profundos do solo, em função dos pesos das camadas superficiais (AZEVEDO & DALMOLIN, 2004).

Conforme Kiehl (1979), a definição de densidade de partículas é entendida como a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seco e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas, sendo também designada por densidade real, peso do volume de sólidos e massa específica real.

3.5.3 Curva característica de retenção de água no solo

A relação entre a umidade do solo e o potencial matricial do solo denomina-se curva de retenção de água no solo, curva característica de água no solo ou

simplesmente curva de retenção, é a parte fundamental da caracterização das propriedades hidráulicas do solo (CHICOTA, 2004). Essa determinação reveste-se de grande importância, visto que a resposta das plantas está relacionada mais diretamente ao potencial energético da água no solo, do que simplesmente ao teor de água no solo (COSTA, 1993).

Segundo Conceição (2005), os dados de tensão de água no solo são obtidos na curva característica de retenção de água no solo. Para utilizar a curva, deve-se estabelecer qual a tensão correspondente à umidade na Capacidade de Campo (CC) e no Limite Inferior de umidade (LI). Para cada valor da tensão corresponde um valor da umidade do solo. A CC é o LS que o solo consegue reter de água, após ter sido saturado e ter ocorrido drenagem natural. De um modo geral, para os solos brasileiros, o valor de CC corresponde à tensão entre 6 kPa, para solos mais arenosos, e 10 kPa, para solos mais argilosos. O Ponto de Murcha Permanente (PMP) é o limite máximo de tensão de água no solo em que a planta ainda consegue recuperar a turgidez, abaixo deste ponto ocorre morte das plantas.

A curva de retenção de água é afetada pela textura do solo, de forma que quanto maior o conteúdo de argila, maior será, em geral, o teor de água retida sob um dado potencial matricial e mais suave será a inclinação da curva devido a uma distribuição mais uniforme de tamanho dos poros. Em solos arenosos, normalmente os poros são maiores, sendo mais rapidamente esvaziados a baixas tensões, restando pequenas quantidade de água retidas a potenciais maiores. (HILLEL, 1982 citado por URACH, 2007).

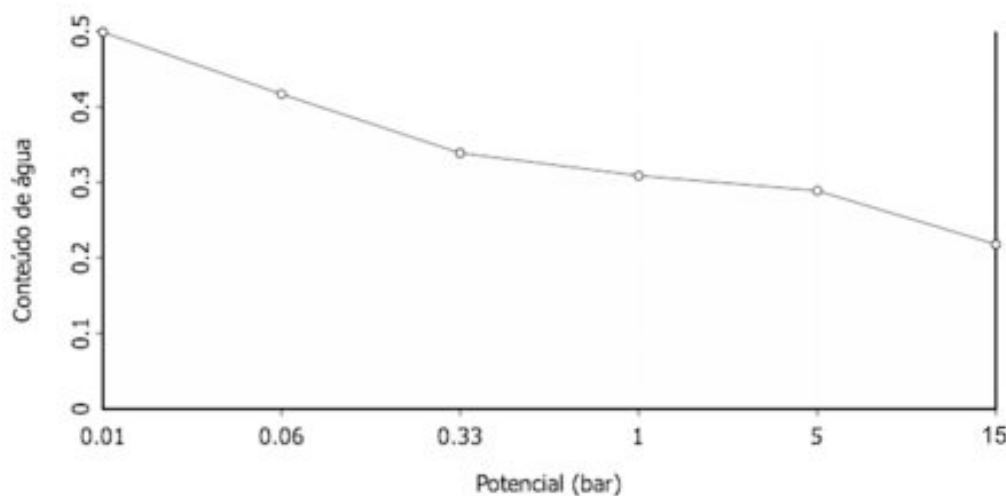


Gráfico 1. Curva característica de água no solo. Fonte: Sistema Irriga®, 2013.

A confecção da curva para cada tipo de solo permite estimar o nível até o qual o teor de água pode decrescer sem afetar o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, sua produtividade, fornecendo assim elementos necessários para uma irrigação racional (VASCONCELLOS, 1993).

3.6 Aspectos climáticos

Os aspectos climáticos são influenciados por fatores geográficos como latitude, altitude, relevo e continentalidade. De acordo com Teixeira (2010), radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento são os principais aspectos climáticos que interferem nos cultivos.

3.6.1 Estações meteorológicas

A Programação da irrigação requer o conhecimento de dados meteorológicos e que esses sejam representativos de uma propriedade ou região. O avanço tecnológico em eletrônica tem favorecido inúmeras áreas, incluindo a

meteorologia e a agricultura, tornando possível o monitoramento automático de diversas variáveis meteorológicas em tempo real, com grande acurácia e precisão nas medidas. Particularmente na agricultura, a aquisição automática de dados tem favorecido o monitoramento de variáveis ligadas à planta, ao solo e ao planejamento da atividade agrícola, às quais estão direta ou indiretamente ligadas às melhorias na eficiência dos sistemas de produção como um todo (CARLESSO et al., 2006).

Um importante componente que auxilia e facilita a coleta desses dados são as estações meteorológicas automáticas, as quais se caracterizam por um conjunto de sensores capazes de descrever as condições meteorológicas de determinados locais em tempo real (VIERO & SOUZA, 2007).

3.6.2 Radiação solar

Leitão et al. (2000) afirmam que a energia proveniente do sol é o fator mais importante para o desenvolvimento dos processos físicos que influenciam as condições de tempo e clima, onde de modo geral todos os fenômenos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos ocorridos no sistema solo – planta – atmosfera estão direta ou indiretamente relacionados com a quantidade de radiação solar incidente sobre a sua superfície.

A radiação solar é fonte de energia para a fotossíntese e evapotranspiração. Mastalerez (1987) descreve que quanto maior a disponibilidade de luz, maior a fotossíntese. A capacidade da planta em interceptar e usar a energia luminosa para fazer fotossíntese determina a disponibilidade de carboidratos para seu crescimento. Quanto maior a área foliar, maior será a fotossíntese, elevando a produtividade das culturas.

3.6.3 Temperatura

O curso anual da radiação solar é o principal fator que determina a variação da temperatura do ar, portanto, à medida que aumentamos a latitude, a temperatura média do ar diminui. Outro fator que altera inversamente o valor da temperatura média do ar é a altitude, em média à medida que se eleva 100 m, ocorre um resfriamento na ordem de $0,65^{\circ}\text{C}$ (TUBELIS & NASCIMENTO, 1992).

3.6.4 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é definida por Tubelis & Nascimento (1992) como sendo a quantidade de água, na fase de vapor, existente na atmosfera, a qual tem como fontes naturais as superfícies de água, gelo e neve, a superfície do solo, além das superfícies vegetais e animais. A umidade relativa do ar influencia a transpiração das plantas. Gislerod et al. (1987) estudando nove espécies de plantas, observaram que houve uma diminuição de 44 à 60% na taxa de transpiração devido ao aumento da umidade relativa do ar de 55 para 95%.

3.6.5 Velocidade do vento

A velocidade do vento aumenta o consumo hídrico, aumentando as trocas gasosas e a abertura estomática. Caso não haja umidade no solo a planta fecha os estômatos e reduz a fotossíntese e o crescimento (TURCHIELLO, 2011).

3.6.6 Precipitação pluviométrica

Em regiões onde ocorre precipitação, ainda que eventuais, o uso da irrigação passa a ser complementar: o uso da água na irrigação deve atender à demanda das culturas de forma sustentável, e nas regiões onde ocorrem chuvas

significativas, estas devem ser consideradas no processo de planejamento, gestão e manejo da água (PIRES et al., 2008).

3.6.7 Evapotranspiração

Segundo Silva & Amaral (2008), a Evapotranspiração (ET), extremamente importante no computo do Balanço hídrico para fins de irrigação, é um processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera através da evaporação da água do solo e da transpiração das plantas.

O clima é um dos principais fatores na determinação do volume de água evapotranspirada pelas culturas. Além dos fatores climáticos, a evapotranspiração também é influenciada pela própria cultura. O meio ambiente e o manejo agrônomo também podem ter influência na taxa de crescimento e na evapotranspiração (DOOREMBOS & PRUITT, 1997; WILLIAMS & MATTHEWS, 1990).

As perdas de água por evaporação e transpiração que ocorrem em uma cultura a campo, constituem a evapotranspiração, essencial para estimar a quantidade de água requerida para irrigação (PEREIRA et al., 1997). A evapotranspiração máxima acumulada de uma cultura depende do seu ciclo de desenvolvimento, varia principalmente com as características das plantas, duração do ciclo, umidade do solo e condições atmosféricas, destacando-se a radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura do ar (KUSS, 2006).

Há também características da comunidade de plantas que influenciam a evapotranspiração, como a influência da arquitetura foliar, da taxa de crescimento e cobertura do solo, da população de plantas, do espaçamento entre linhas, da orientação, da altura das plantas, da profundidade e densidade do sistema radicular e do estágio fenológico da cultura (SEDYAMA et al., 1998).

Segundo Baille et al. (1994), nos anos 70, os métodos indiretos para calcular a evapotranspiração através de modelos matemáticos eram baseados apenas na radiação solar global e coeficientes como o coeficiente da cultura. Recentemente,

foram desenvolvidos modelos para estimar a evapotranspiração baseados em fatores climáticos como a radiação solar global, o déficit de pressão de vapor e parâmetros específicos da cultura como a resistência estomática e o índice de área foliar. Esses modelos de equações são muito bem elaborados e fornecem dados mais precisos da necessidade de água para o cultivo de determinada cultura (TURCHIELLO, 2011).

Baille et al. (1992), observaram que a estimativa da evapotranspiração pela fórmula de Penman-Monteith usando as fórmulas de radiação solar e déficit de pressão de vapor foi capaz de simular os valores de evapotranspiração com segurança. Este método é utilizado quando se dispõe de estações meteorológicas com sensores de radiação, velocidade de vento, temperatura e umidade relativa do ar. Devido ao maior número de estações meteorológicas disponíveis e a facilidade em acessar esse dados, atualmente é o método padrão para cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) pela FAO (ALLEN et al., 1998).

A ET_o é utilizada em diversos estudos agrometeorológicos, tais como em modelos de produção, balanços hídricos e zoneamentos agroclimáticos, bem como no manejo e no dimensionamento de sistemas de irrigação (ALLEN et al., 1998).

3.6.8 Coeficiente de cultura

Para medir os efeitos das características da cultura sobre as necessidades hídricas das plantas, Doorembos e Pruitt (1979) utilizaram coeficientes de cultura (K_c) que relacionam a ET_o com a evapotranspiração da cultura (ET_c). O valor de K_c representa a evapotranspiração de uma cultura em condições ótimas que proporcionam ótimos rendimentos (TURCHIELLO, 2011).

O K_c varia com a altura e estágio de desenvolvimento da cultura, velocidade do vento e umidade relativa (DOOREMBOS & KASSAM, 1979). No início do crescimento, quando o dossel vegetativo não cobre completamente o solo e a quantidade de radiação interceptada é baixa, o K_c é particularmente sensível aos fatores do solo como condutividade hidráulica e conteúdo de água próximo à

superfície (RITCHIE & JONHSON, 1991). Annandale & Stockle (1994) analisaram a influência do clima (radiação solar, velocidade do vento, temperatura do ar e pressão de vapor) no K_c e verificaram que esses valores, em condições de cobertura completa do solo, tendem a variar com mudanças nos elementos do clima, devido às diferenças nas propriedades aerodinâmicas da superfície e resistência do dossel da cultura de referência e da cultura a ser irrigada.

3.7 Distribuição uniforme de água

A uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação é um parâmetro de grande importância. A baixa uniformidade da lâmina de água aplicada na área irrigada conduz a resultados insatisfatórios, com redução da eficiência de aplicação de água. Aplicando-se a lâmina recomendada com um sistema de irrigação com baixa uniformidade, algumas plantas não terão disponível o volume de água suficiente para seu pleno desenvolvimento. Para compensar a menor disponibilidade é necessário aumentar o volume aplicado, o que fará com que as outras regiões da área irrigada recebam excesso de água, que se perderá por percolação profunda (CAPRA & SCICOLONE, 1998).

Em sistemas de irrigação por pivô central, a eficiência de aplicação em campo está diretamente relacionada com a uniformidade de distribuição, que mede a variação espacial da precipitação, normalmente representada pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (1942), CUC, modificado por Heermann & Hein (1968), geralmente a uniformidade de distribuição é o principal critério utilizado para avaliar adequação de um sistema de irrigação (Mendonza & Frizzone, 2012). Tarjuel (1995) salienta que os benefícios econômicos da irrigação aumentam em função do aumento da uniformidade de distribuição, independentemente do custo da água.

A uniformidade de aplicação de água, utilizada como um dos principais parâmetros para avaliar o desempenho de um sistema de irrigação, é afetada por vários fatores: diâmetro da tubulação lateral, diâmetro dos bocais, espaçamento entre emissores, altura do pendural, característica operacional dos reguladores de

pressão, velocidade do vento e uniformidade topográfica do terreno. Os cinco primeiros fatores são essencialmente hidráulicos característicos do equipamento, podendo ser previsto no projeto do sistema (FRIZZONE & DOURADO NETO, 2003).

Nos sistemas de irrigação por pivô central utilizam-se válvulas reguladoras de pressão para minimizar os efeitos da variação de pressão na vazão dos emissores, permitindo uma pressão de saída aproximadamente constante em um intervalo de pressão de entrada. Estas válvulas reguladoras diminuem sua capacidade de regulação, por dimensionamento inadequado da linha lateral ou por desgaste pelo uso, necessitando-se aumentar a lâmina aplicada para compensar o efeito da falta de uniformidade na produção ou alternativamente trocar o conjunto de aspersão (válvula reguladora de pressão e emissor) (CASTIBLANCO, 2009).

Souza et al. (2002), citado por Costa (2005), estudando o efeito da uniformidade de distribuição de água no consumo de água de um sistema de irrigação por pivô central, concluíram pela possibilidade de uma economia de água de 25,9% quando o sistema passa de CUC de 64,8 para 85,6%. Desta forma, para que haja um bom manejo destes sistemas, faz-se necessário uma avaliação da lâmina média aplicada pelo equipamento, bem como a determinação da uniformidade de distribuição de água (COSTA, 2005).

Devido à crescente necessidade de uso racional dos recursos hídricos, aos elevados custos de energia e demais insumos empregados na produção agrícola, os sistemas de irrigação e os métodos de manejo da água devem proporcionar uma aplicação uniforme e eficiente (HEINEMANN et al. 1998).

Os fatores que afetam a uniformidade de distribuição de água às plantas podem ser classificados, segundo Heinemann et al. (1998), em climáticos e não climáticos. Entre os fatores climáticos citam-se: evaporação da água, temperatura do ar, umidade relativa e vento. Já os fatores que não climáticos estão relacionados à correta operação dos equipamentos, podendo ser citados: a pressão de operação do emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral do pivô e a altura do emissor. A redução da altura do emissor em relação à cultura permite reduzir as perdas por evaporação e deriva.

Cainelli et al. (1997) afirmam que os principais problemas relacionados ao pivô central são equipamentos desativados por falta de água em função de sistemas de bombeamento mal dimensionados, que não fornecem vazão e pressão necessárias para um bom desempenho do sistema. Estes autores relatam ainda que durante a avaliação de um equipamento de pivô central, houve entupimento parcial e total dos últimos emissores em virtude do acúmulo de areia.

A eficiência de um sistema de irrigação pode ser dividida em dois componentes: uniformidade de aplicação, que refletirá a perda por percolação; e perda por evaporação e arraste pelo vento. Para que a eficiência alcance valores altos, é necessário que as perdas durante a operação do sistema de irrigação sejam as menores possíveis e a uniformidade de aplicação seja a maior possível. Se a uniformidade é ruim ou as perdas na aplicação são grandes, a eficiência pode ser baixa (KELLER & BLIESNER, 1990).

4. ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O ESTÁGIO

4.1. Curso Sobre o Sistema Irriga®

O início do estágio ocorreu na cidade de Santa Maria no Rio Grande do Sul com o curso sobre o Sistema Irriga®, ministrado pelo Professor Dr. Reimar Carlesso e a Professora Dra. Mitra Teresinha Petry, ambos da Universidade Federal de Santa Maria. Dia 14 de janeiro deu-se início ao curso com a apresentação do Sistema Irriga® e a estrutura que mantém o sistema em funcionamento, como os laboratórios de informática e análises de solo e os campos experimentais. Nos dias seguintes foram apresentados os aspectos relacionados à física do solo, estações meteorológicas, análise da umidade do solo em nível de campo, comportamento das plantas, informações técnicas sobre pivô central, além de outros detalhes técnicos para a implantação do sistema e início de monitoramento das áreas no Paraguai.



Figura 2. Aula prática sobre coleta de amostras de solo. Fonte: Registro fotográfico do autor, 2013.

O trabalho realizado pelos pesquisadores de Santa Maria denota a preocupação com os produtores rurais, meio ambiente e sociedade. Em todo o mundo, os produtores rurais com tecnologia de irrigação em suas propriedades, chamados irrigantes, possuem grandes dificuldades em manejo de irrigação, aplicando água nos momentos incorretos, afetando o aumento de produtividade, desperdício de água e gastos com energia.

Segundo o pesquisador Reimar Carlesso, através do monitoramento, há aumento de produtividade nas lavouras e redução de custos de energia elétrica, água e pesticidas, o que faz com que o Sistema Irriga® traga equilíbrio com o meio ambiente pela economia de energia e água. O Sistema Irriga® foi premiado na categoria Tecnologia Rural em 2005 e amigo da água em 2008. Além dos benefícios em termos de produção e racionamento de água e energia, o Sistema Irriga® é uma ferramenta de difusão tecnológica. Segundo Viero (2009), o crescimento do Sistema Irriga® pode ser comparado com a velocidade de avanço da própria Internet, tanto no meio urbano quanto no meio rural, e a impossibilidade de se inserir neste processo pode resultar em uma marginalização sem precedentes. A capacidade de estar incluído no mundo digital tornou-se fator de sobrevivência, especialmente no âmbito rural, cujas distâncias e isolamento podem ser superados pelas novas tecnologias.

4.2 Implantação do Sistema Irriga® no Paraguai

A primeira área monitorada pelo Sistema Irriga® no Paraguai foi a Fazenda Santa Mariana, pertencente ao grupo Agroser e um dos sócios da empresa Ciabay S.A. Localizada no departamento de Canindeyú, município de La Paloma del Espíritu Santo, a fazenda conta com cinco mil hectares de plantio e três mil hectares de reserva legal, dos quais 102 hectares são irrigados e há previsão de implantação de mais 102 hectares para o segundo semestre de 2013.

A fazenda da empresa concedente do estágio forneceu alimentação e hospedagem durante 5 dias para realização dos procedimentos necessários para se iniciar o monitoramento da área irrigada.

O primeiro pré-requisito para um produtor irrigante receber monitoramento do Sistema Irriga® é possuir abrangência de uma das estações meteorológicas conveniadas com a empresa. O alcance de uma estação meteorológica conveniada pode abranger um raio de até 70 km. Como a fazenda Santa Mariana não possuía este pré-requisito, foi necessário a instalação de uma estação meteorológica na propriedade.

De uma maneira geral, a localização de uma estação meteorológica automática obedece às mesmas normas utilizadas para a instalação de estações convencionais. Por suas características de mobilidade, as estações meteorológicas automáticas podem ser colocadas em qualquer lugar onde tenha fornecimento de energia elétrica, quando as mesmas não estiverem acompanhadas de painel solar. O painel solar alimenta uma bateria recarregável, para energizar os sensores também no período noturno e em dias nublados.

Atualmente, o Sistema Irriga® conta com um conjunto de 73 estações meteorológicas automáticas, denominadas de Plataformas de Coleta de Dados – PCDs, no Brasil e quatro na República do Uruguai. Todas essas PCDs enviam as informações meteorológicas de 15 em 15 minutos através da internet para um servidor instalado na Universidade Federal de Santa Maria (VIERO & SOUZA, 2007).

A estação foi alocada a 50 metros da sede da fazenda em uma área de campo gramado e cercada para evitar danos. Através de um suporte metálico a estação foi fixada a 1,5 metros de altura em relação ao solo conforme indicação do fabricante.



Figura 3. Estação meteorológica automática instalada na fazenda Santa Mariana.
Fonte: Registro fotográfico do autor, 2013.

Apesar de a estação meteorológica possuir pluviômetro de báscula, outro pré-requisito necessário foi a instalação de um pluviômetro na base do pivô, em virtude da distância da sede até o pivô central e da padronização que o Sistema Irriga® exige, sendo necessário um pluviômetro na base de cada pivô. O pluviômetro fornecido pelo Sistema Irriga® é da marca São Isidro, que possui uma área de captação (102 cm^2) conferindo-lhe maior precisão das leituras, além de um aro registrador para chuvas acumuladas.

Para aferição deste pluviômetro foi instalado a um metro de distância um pluviômetro tipo ville de paris com 400 cm^2 de "boca". Ambos foram instalados a 1,40 metros de altura em relação ao solo. A chuva acumulada no coletor São Isidro foi medida através da própria graduação do recipiente, já a chuva acumulada no coletor tipo Ville de Paris foi medida com proveta de 500 mL graduada em 5 mL.

A precipitação acumulada no primeiro coletor foi de 8,5 mm e a precipitação acumulada no coletor tipo Ville de Paris foi de 255 mL que foi transferido para proveta, segundo tabela de conversão fornecida pelo próprio fabricante, este valor corresponde à aproximadamente 8,0 mm. Apesar do pluviômetro Ville de Paris ser considerado como padrão utilizado na maioria das

estações meteorológicas, verifica-se que o pluviômetro São Isidro utilizado pelo Sistema Irriga®, apresentou uma leitura aproximada da obtida pelo pluviômetro tipo Ville de Paris. Por apresentar maior praticidade no momento da leitura, não necessitando uma proveta nem mesmo uma tabela de conversão, como ocorre no pluviômetro Ville de Paris, o pluviômetro São Isidro é uma ótima opção para evitar erros de leitura. Além disso, o custo aproximado do pluviômetro São Isidro é cerca de um quarto ($1/4$) em relação ao custo do pluviômetro Ville de Paris.



Figura 4. Pluviômetros instalados na base do pivô. Fonte: Registro fotográfico do autor, 2013.

O conhecimento das características físico-hídricas dos solos é fundamental para a viabilização de um sistema de manejo de irrigação. Portanto, em todas as áreas monitoradas pelo Sistema Irriga® é feita a amostragem de solo para a caracterização físico-hídrica desses. Cada amostragem (trincheira) é representativa de uma área aproximada de 50 hectares de área irrigada, como o Pivô central da fazenda Santa Mariana possuía 102 hectares, foram cavadas duas trincheiras com aproximadamente 80 cm de comprimento, 60 cm de largura e 75 cm de profundidade. Os perfis dos solos foram divididos em três camadas,

em função da morfologia do solo, assim descritas: camada superficial, camada intermediária e camada inferior. A camada superficial usualmente varia de zero a 25 cm de profundidade entre os perfis amostrados, a camada intermediária varia de 15 a 50 cm e a camada inferior varia de 35 a 75 cm de profundidade. Para fins de precisão, são exigências do Sistema Irriga®, três amostras com estrutura preservada em anéis coletores para a camada superficial e dois anéis coletores para a camada intermediária, assim como para a camada inferior, totalizando sete amostras com estrutura preservada em anéis coletores por ponto. Foram coletadas três amostras com estrutura não preservada, uma amostra em cada camada de solo, contendo aproximadamente 500 g de solo e depositadas em sacos plásticos devidamente etiquetados. As amostras deformadas foram coletadas para posterior análise granulométrica e densidade de partículas em laboratório.

Com o auxílio de uma trena, foi medida a altura de cada camada e realizado a extração das amostras. Em seguida, as amostras foram embrulhadas em folha fina de alumínio e acondicionadas, em caixa térmica de isopor com serragem de madeira, para evitar a perda de umidade e possíveis danos no transporte. As amostragens são normalmente realizadas no último, penúltimo e antepenúltimo lance dos pivôs, pois esses locais representam a maior área irrigada por lance do pivô.

As amostras indeformadas foram então enviadas para o laboratório do Sistema Irriga® na Universidade Federal de Santa Maria para determinação da macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e curva característica de água no solo, juntamente com as amostras deformadas para análise granulométrica e densidade de partículas.



Figura 5. Coleta das amostras de solo com anéis coletores. Fonte: Registro fotográfico do autor, 2013.

Com um GPS garmin etrex20 foi marcado o ponto geográfico e a altura no centro do pivô, assim como o ponto geográfico de cada um dos locais de coleta das amostras. Com os pré-requisitos necessários para o monitoramento da área irrigada preenchidos, passou-se para o cadastramento on-line na página do sistema. Para isso foram coletadas as informações de cultivar, população de plantas, espaçamento, data de plantio, entre outras informações, conforme a tabela 1.

Tabela 1. Dados Técnicos da área monitorada.

Cliente: Santa Mariana	Pivô 01	La Paloma del Espíritu Santo
População: 444.000 pl/ha	Área contratada:102.00 ha	Cultivar: Dom mario 6.2
Latitude: 25°13'59,6"S	Longitude: 54°28'2,0"O	Altitude: 310 m
Semeadura: 20/01/2013	Ativação: 29/01/2013	Situação: Encerrado em 21/04/2013
Cultura: Soja	Sistema de cultivo: plantio direto	Espaçamento(linha): 0,45 m
Lâmina mínima: 4,89 mm	Tempo 100%: 12,20 h	

Durante o período de monitoramento foram realizadas visitas técnicas para determinação do estágio fenológico da cultura, altura de planta, grau de infestação de plantas invasoras, aparência nutricional das plantas e umidade do solo. As visitas deveriam ser realizadas com uma frequência máxima de 15 dias porém, devido a dificuldade de transporte, não foi possível adotar esta condição.

Tabela 2. Relatório de visitas técnicas.

Data da visita	DAS	Altura da planta	Fenologia	Umidade (cm ³ /cm ³)		
				1 Camada (0-20)	2 Camada (20 - 40)	3 Camada (40-60)
30/01/13	11	8 cm	VC	Não avaliada	Não avaliada	Não avaliada
08/02/13	20	15 cm	V2	Não avaliada	Não avaliada	Não avaliada
05/03/13	45	43 cm	R2	0.30 Baixa	0.32 Baixa	0.28 Baixa
12/03/13	52	50 cm	R4	0.46 Adequada	0.44 Adequada	0.45 Adequada
03/04/13	74	61 cm	R5	0.45 Adequada	0.44 Adequada	0.41 Adequada

Para verificação da umidade do solo foi utilizado um equipamento eletrônico que utiliza a técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR). O funcionamento da TDR para a medida da umidade é baseado na medida da velocidade de propagação de ondas eletromagnéticas em uma guia de onda metálica (sonda) inserida no solo. O equipamento mede o tempo de trânsito das ondas eletromagnéticas na sonda, o qual é dependente da constante dielétrica do solo (PEDRO VAZ et al., 2004).

Através de uma correlação experimental entre a constante dielétrica medida com o TDR e a umidade volumétrica do solo medida por gravimetria, pode-se, portanto, a técnica de TDR para a determinação da umidade do solo (TOPP et al., utilizar 1980).



Figura 6 - Equipamento utilizado para verificação da umidade do solo. Fonte: Registro fotográfico do autor, 2013.

Em cada visita técnica devem ser avaliadas as umidades nas três camadas do solo, cavando-se uma trincheira em um ponto representativo da área, como demonstrado na Tabela 2. Nas duas primeiras visitas técnicas não foi possível avaliar a umidade do solo em virtude do equipamento não estar disponível no dia da visita.

Conforme demonstrado na Tabela 3, durante todo o período de monitoramento pelo Sistema Irriga® a estação meteorológica forneceu dados que auxiliaram nas práticas de manejo, sendo nos cálculos de recomendações de irrigação ou para o próprio acompanhamento do produtor no desenvolvimento da cultura, como por exemplo no acúmulo de graus-dia. A determinação dos graus-dia acumulados possui grande importância para a avaliação da duração do ciclo fenológico das culturas uma vez que, considerando apenas o tempo cronológico, poderão ocorrer variações em função das condições meteorológicas existentes (OLIVEIRA, 2012).

Tabela 3. Médias mensais dos dados da estação Santa Mariana.

Mês	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13
TAr (°C)	26,31	25,21	23,74	20,79
TMin (°C)	12,7	17,1	11,8	9,2
TMax (°C)	38,2	37,2	39,2	33,1
Umidade (%)	60,78	79,21	80,26	81,71
UMin (%)	19	25	30	28
UMax (%)	99	100	100	100
Precipitação (mm)	0	309,6	176,9	106,1
Pressão (kPa)	96,9	96,83	96,96	97,22
Radiação (W/m ²)	609,35	444,79	434,32	445,45
Rad. Soma (Mj/m ²)	1.292,08	1.727,72	2.124,89	2.001,33
Insolação (h)	12,27	11,24	10,96	10,4
Vento (m/s)	0,93	1,29	0,87	0,66

Conforme descrito na Tabela 4, a precipitação ocorrida no mês de fevereiro e registrada pela estação Santa Mariana foi de 309,6 mm enquanto o valor de precipitações registradas pelo pluviômetro São Isidro instalado na base do pivô central 01 da fazenda Agrícola Santa Mariana S.A. foi de 340,5 mm. Valores

distintos também foram encontrados no mês de março, sendo de 176,9 mm para a estação meteorológica e 184 mm para o pluviômetro. Já para o mês de abril os valores foram semelhantes, sendo de 106,1 mm registrado pela estação meteorológica e 104,6 mm.

Tabela 4. Registro de precipitações.

	Estação Meteorológica	Pluviômetro
Fevereiro	309,6mm	340,5mm
Março	176,9mm	184mm
Abril	106,1mm	104,6mm

A previsão do tempo é uma ferramenta muito utilizada pelo produtor irrigante, pois pode-se economizar água e energia através do aproveitamento das águas das chuvas. O Sistema Irriga® deixa sob responsabilidade do produtor o cumprimento das recomendações de irrigação, se o produtor preferir aguardar uma chuva que foi prevista e esta não ocorrer, o sistema se isenta de qualquer responsabilidade. Em cada visita técnica é registrado o valor do horímetro do pivô central para confirmação de cumprimento das recomendações de irrigação feitas pelo Sistema Irriga® pelo produtor.

4.3 Participação no atendimento aos clientes em feiras de exposição

Com mais de 450 expositores distribuídos em 20 hectares, a 15ª edição anual da Expo Canindeyú, um dos principais eventos do agronegócio no Paraguai, contou com a presença de um total estimado de 120 mil pessoas, e com um giro em negócios ultrapassando os US\$ 180 milhões. A feira aconteceu no município de La Paloma del Espiritu Santo e a Ciabay S.A. esteve presente com três Stands de exposição, sendo um de agroquímicos, outro de implementos e um terceiro com exposição de máquinas Case IH e New Holland.



Figura 7. Escritório do departamento de irrigação - Expo Canindeyú. Fonte: Registro fotográfico do autor, 2013.

Com o mesmo número de Stands, a Ciabay S.A também participou da 21^a edição da Expo Santa Rita, outro grande evento do agronegócio paraguaio, que acontece anualmente no município de Santa Rita no departamento do Alto Paraná. Durante os períodos de feira acompanhou-se o atendimento do gerente do departamento de irrigação da empresa, João Carlos Schardong Júnior, aos clientes interessados em adquirir equipamentos de irrigação.



Figura 8. Espaço para divulgação dos equipamentos e serviços de irrigação - Expo Santa Rita. Fonte: Registro fotográfico do autor, 2013.

4.4 Determinação da uniformidade de distribuição de água

Segundo Bernardo (2006), a uniformidade da irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação de sistemas de irrigação. A qualidade de uma irrigação é avaliada por meio da uniformidade com que a água é aplicada. Vários coeficientes foram desenvolvidos com a finalidade de quantificar a uniformidade de aplicação da água (FRIZZONE & DOURADO NETO, 2003).

O trabalho foi conduzido na fazenda Santa Mariana localizado no município de La Paloma del Espiritu Santo, departamento de Canindeyú no Paraguai. A fazenda está localizada a 220 km de Foz do Iguaçu, no Brasil. As coordenadas geográficas da propriedade são: 24°14'43.33"S e 54°28'44.55"O.

O pivô central analisado, da marca Valley, modelo 4871-8000, fabricado pela Valmont, possuía uma área útil irrigada de 102 hectares. Distribuídos ao longo da lateral encontravam-se 226 aspersores da marca Senninger modelo I-WOB, com tubos de descida. O trabalho de avaliação do pivô da Fazenda Santa Mariana foi

conduzido dia 5 de março de 2013, seguindo as normas propostas pela ABNT NBR14244. As características de projeto do pivô central em questão são apresentadas a seguir:

Tabela 5. Características do Pivô Central analisado

Velocidade Máxima da Última Torre (100%): 280,0 m h⁻¹

Raio calculado irrigado: 569,90 m

Número de Torres: 10

7 vãos longos de tubulação 8.5/8" de 54,86 m

2 vãos longos de tubulação 6.5/8" de 54,86 m

1 vão médio de tubulação 6.5/8" de 48 m

Comprimento do Balanço: 27,45m

Comprimento até a ultima torre (RU)= 542,45m

Área irrigada (A): 102,03 ha

Potência do Conjunto motobomba = 160 CV

Vazão: 408,14 m³/h

Pressão na entrada do Pivô: 60 m.c.a

Atura dos Aspersores: 2,40 metros

Lâmina indicada no painel : 11.60 mm

Diâmetro do Coletor: 80 mm

Área do Coletor: 5026,54 mm²

Para obtenção das uniformidades de aplicação de água do pivô, foi utilizada uma linha de 181 coletores (Kit Fabrimar), espaçados de 3,0 metros entre si, ao longo do raio do pivô, desconsiderando a instalação de coletores nos 30 metros iniciais, partindo da base do pivô central. Cada coletor foi colocado em hastes metálicas a aproximadamente 50 cm da superfície do solo.



Figura 9. Local da realização da análise. Fonte: Registro fotográfico do autor.

Para caracterizar as condições climáticas durante os testes, foram utilizados os dados de uma estação meteorológica automática, marca Watchdog station, modelo 2000 series, com sensores de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar e precipitação, em local próximo à área do ensaio.

O pivô iniciou o funcionamento às 15h20min, no sentido de rotação anti-horário e, após um período de estabilização de seu funcionamento, iniciou-se a avaliação propriamente dita. Registrou-se o momento em que as primeiras gotas alcançaram os coletores e o momento em que não mais os alcançava, sendo às 15h37min e às 16h08min, respectivamente.

A uniformidade das lâminas de água aplicada pelo sistema avaliado foi determinada pelos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), de Heermann e Hein (CUH), além do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), pelo emprego das equações 1, 2 e 3.

$$CuC = 100 \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |V_i - V_{MA}|}{\sum_{i=1}^n V_i} \right) \quad \text{eq.1}$$

Onde:

C_{uC} - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %

n - número de coletores utilizados na análise de dados

V_i - lâmina coletada no coletor i , mm

V_{MA} - lâmina média, mm

$$V_{MA} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

$$CuH = 100 \times \left[1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |V_i - V_{MP}| \times S_i}{\sum_{i=1}^n V_i \times S_i} \right) \right] \quad \text{eq.2}$$

C_{uH} - coeficiente de uniformidade de Heermann e Hein, %

n - número de coletores utilizados na análise de dados

i - número designado para identificação de um coletor em particular, normalmente começando com o coletor localizado mais próximo do ponto do pivô ($i=1$) e terminando com $i=n$, para o último coletor considerado

V_i - Volume de água em milímetros

S_i - distância do i -ésimo coletor ao ponto do pivô, metros

V_{MP} - é o volume médio ponderado da água coletada, em milímetros

$$V_{MP} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \times S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

$$CUD = 100 \times \frac{Y_{MP25}}{Y_{MP}} \quad \text{eq.3}$$

Onde:

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;

Y_{mp25} - lâmina média ponderada de 25% da área total que recebeu as menores precipitações, em mm.

Y_{mp} - lâmina média ponderada, considerando todos os coletores, em mm;

As velocidades de ventos tiveram pouca variação durante a realização dos testes possibilitando uma análise acurada dos coeficientes de distribuição. Segundo a Norma da ABNT (1998) NBR14244 as condições de vento durante o período de ensaio não deve exceder 3 m/s para que possua uma mensuração válida da uniformidade ou desempenho do conjunto de emissores. Verifica-se pela Tabela 6 que a velocidade do vento durante o período de ensaio esteve dentro dos parâmetros pré-estabelecidos pela norma.

Tabela 6. Condições meteorológicas no momento do ensaio.

Horário	Umidade Relativa do Ar %	Vento m/s	Temperatura °C
15:30	81,6	1,1	24,7
15:45	79,7	2,5	24,7
16:00	78,3	2,5	24,8
16:15	76,4	1,6	25,2
Média	79	1,9	24,9

Os valores médios dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), de Heermann e Hein (CUH) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) encontram-se na Tabela 7.

O CUC é considerado o principal parâmetro que descreve a uniformidade de irrigação, sendo usado para medir a variabilidade espacial da lâmina de água aplicada pelo sistema de irrigação (MANTOVANI et al., 2006). O valor de CUC geralmente apresenta maiores valores de uniformidade de irrigação se comparado ao CUD (SOUSA et al., 2001). O cálculo do CUD foi realizado utilizando-se a lâmina média ponderada de todas as observações dividido pela média ponderada das precipitações correspondentes aos 25% da área total menos irrigada, isto explica o fato de o CUC apresentar valores, geralmente, maiores que o CUD. De acordo com Burt et al. (1997), por esta e outras razões, o CUD vem sendo cada vez mais adotado em várias partes do mundo.

Segundo Bernardo (2006), para o sistema pivô central, é recomendado um CUC maior ou igual a 90% para culturas com alto valor comercial ou sistema radicular raso; um CUC entre 85 e 90% para cultivares com sistema radicular médio; e um CUC de 80 a 85% para cultivares com sistema radicular profundo. Já para Merriam et al. (1973), culturas de alto rendimento econômico e com sistema radicular raso, o sistema de aspersão deve apresentar uma uniformidade de distribuição acima de 80% ou CUC acima de 88%. Para culturas com sistema radicular médio, esta uniformidade de distribuição pode variar de 70 a 80% e CUC de 82 a 88%.

Tabela 7. Resultados obtidos através da interpolação de valores.

Pivô Central	Lâmina Indicada (mm)	Lâmina Média (mm)	CUC %	CUH %	CUD %
1	11,6	13,63	89,73	89,56	81,35

Tabela 8. Classificação da uniformidade de distribuição de água em pivô central de acordo com a norma NBR 14244 (1998) da ABNT.

CUC (%)	Classificação
<80	Ruim
80 a 84	Regular
85 a 89	Boa
>90	Muito Boa

Verifica-se através do Gráfico 2 que os primeiros coletores apresentaram lâmina de água inferior à média, isto ocorre em virtude da distribuição dos aspersores nas duas primeiras torres, sendo de uma saída com aspersor instalado e a saída seguinte fechada. A norma da ABNT permite a supressão de 12% dos coletores iniciais, sendo assim, os coletores situados até 68,4 metros a partir do centro do pivô podem ser eliminados da análise de distribuição de água. Eliminando-se os 12% dos coletores iniciais da análise, o resultado do CUC aumenta de 89,73% para 90,65%.

Os aspersores situados entre 474 e 486 metros, assim como os aspersores finais, partindo do centro do pivô, foram analisados no dia seguinte ao ensaio. Retirou-se o último aspersor do tubo de descida e foi encontrado um objeto metálico que estava obstruindo a passagem da água. Segundo Sousa (2003) à medida que se prolonga o tempo de uso do equipamento no decorrer do ciclo da cultura, aumenta-se a possibilidade de obstrução dos orifícios, afetando a produtividade da cultura, sendo necessária, assim, avaliação da uniformidade de distribuição da água.

No momento do ensaio observou-se que um dos aspersores situado à aproximadamente 480 metros do centro do pivô apresentava precipitação maior que o normal, realizou-se a troca do regulador de pressão assim como do bocal do aspersor. Os demais aspersores que, segundo o Gráfico 2, apresentaram

discrepância em relação à média, foram analisados e encontraram-se pequenas sujidades nos bocais dos aspersores próximos aos coletores que indicaram menores quantidades de água.

A diferença observada entre a lâmina média ponderada de 13,63 milímetros e a lâmina indicada no painel do equipamento de irrigação de 11,6 milímetros pode ser explicada pelo ensaio ter sido realizado no ponto mais baixo da propriedade, sendo a diferença entre o ponto mais baixo e o mais alto de 26 metros.

O equipamento de irrigação deve ser dimensionado para trabalhar considerando as perdas de carga na parte mais alta, portando no ponto mais baixo a pressão nos aspersores é maior, em se tratando de um equipamento com dois anos de uso, os reguladores de pressão podem estar desgastados e não suportando a pressão de fábrica, como pode ser observado no Gráfico 2.

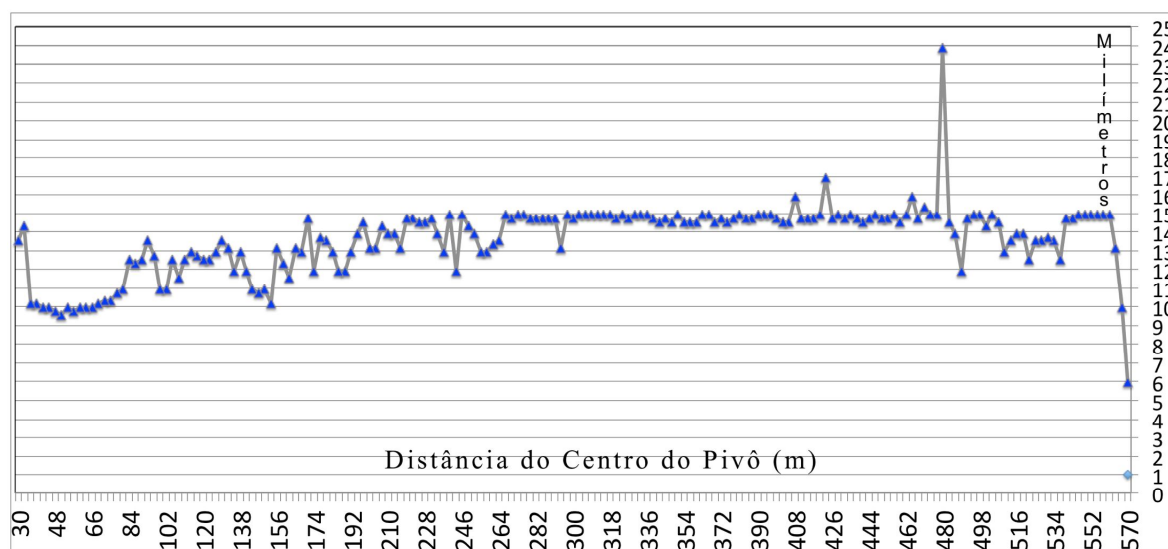


Gráfico 2. Perfil de distribuição de água ao longo do raio do pivô (2013).

Segundo Biscaro (2009) é recomendado que o sistema de pivô central seja instalado em áreas com declive inferior a 15%, para que não sejam afetadas a uniformidade e a eficiência de aplicação de água. De acordo com Guerra (2012) os reguladores de pressão são peças com molas internas que se desgastam dentro de um prazo relativamente curto. Klar et al. (2001) avaliaram o desempenho de reguladores novos e usados instalados em dois pivôs e

observaram que após a troca dos kits compostos de difusores e reguladores de pressão, os CUC's aumentaram em 24,22 e 34,76% e as lâminas aplicadas foram inferiores em 9,2 e 25,06%, entre os dois pivôs testados por este autor. Lima et al. (2003) também encontram resultados semelhantes onde, o desempenho hidráulico dos reguladores de pressão com tempos de uso iguais ou superiores a 8500 h não se manteve semelhante ao do novo, especialmente para pressões de entrada superiores a 481,9 kPa.

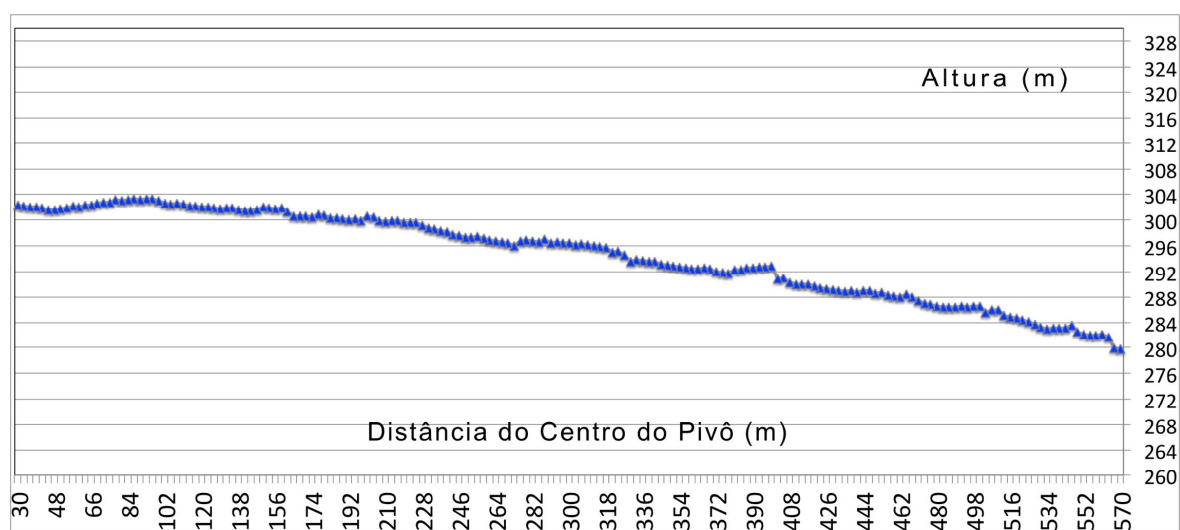


Gráfico 3. Perfil de elevação do terreno ao longo do raio do pivô (2013).

Segundo Duke et al. (1992), nenhum sistema de irrigação é capaz de aplicar água com perfeita uniformidade. O sistema de irrigação avaliado funciona com boa uniformidade de distribuição de água, uma vez que apresenta valores de CUC acima de 80% e de CUD, acima de 70%, o que é considerado satisfatório por um grande número de autores, entre eles, Merriam et al. (1973). A uniformidade de aplicação da água, utilizada como um dos principais parâmetros para avaliar o desempenho de um sistema de irrigação, é afetada por vários fatores: o diâmetro da tubulação lateral, o diâmetro dos bocais, o espaçamento entre os emissores, a altura do pendural, a característica operacional dos reguladores de pressão, a velocidade do vento e a uniformidade topográfica do terreno. Os cinco primeiros fatores são essencialmente hidráulicos, característicos

do equipamento, podendo ser previstos no projeto do sistema (FRIZZONE & DOURADO NETO, 2003).

De acordo com Sales et al. (2001) a falta de uniformidade pode ser causada por diversos fatores, entre eles as diferentes características dos emissores, um insuficiente controle de qualidade; falhas ou incompetência no cálculo do sistema, ou sua operação; outras pressões de serviço, além daquelas projetadas para os tipos de emissores usados; e variações físicas no sistema que aparecem com o tempo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Proteger o meio ambiente e aumentar a produtividade das lavouras diminuindo a pressão por abertura de novas áreas são características de um programa de manejo de irrigação de qualidade. A sociedade cada vez mais se conscientiza da necessidade de agir em prol do meio ambiente, entretanto as ações governamentais com o intuito de preservar o meio ambiente não são suficientes sem a tomada de decisão por parte do cidadão.

As atividades práticas são a melhor maneira de resgatar e colocar em ação os ensinamentos transmitidos ao longo dos anos de graduação. Ter a possibilidade de trabalhar em uma área como a de irrigação, a qual envolve grande parte dos temas abordados pelos professores, é uma grande satisfação e um início de realização profissional. As atribuições do engenheiro agrônomo possibilitam seguir em diversos caminhos e, é muito importante desempenhar suas funções com humildade, qualidade e seriedade, por mais simples que possam parecer. Este estágio possibilitou um amadurecimento e o conhecimento do papel do engenheiro agrônomo dentro de uma empresa e na sociedade.

A irrigação permite aumentar a produtividade e o uso adequado dos solos reduzindo a pressão por abertura de novas áreas. A utilização da irrigação é uma das principais opções para o agricultor garantir sua produção, sendo que essa garantia não depende apenas do produtor, depende de água de boa qualidade, projetos bem elaborados e um manejo de irrigação adequado. O Sistema Irriga®, por estar em constante atualização, devido às pesquisas na Universidade e o contato direto com o produtor, tende a crescer ano após ano em área monitorada. É obrigação do produtor de posse de um equipamento em funcionamento realizar as manutenções indicadas pelo fabricante do equipamento, além de observações constantes dos equipamentos para encontrar defeitos visíveis, além de ensaios de uniformidade de distribuição para encontrar os problemas como bocais entupidos e reguladores de pressão defeituosos para que estes problemas sejam corrigidos rapidamente, pois dependendo do estágio fenológico da cultura pode ser impossível recuperar o prejuízo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome; FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage. Paper; 56).

ANA, Agência Nacional de Águas. **Agricultura irrigada: estudo técnico preliminar**. Brasília, DF, 2004, 107 p.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2012**. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/Conjuntura2012.pdf/>>. Acesso em: 15 abril 2013.

ANNANDALE, J.G.; STOCKLE, C.O. **Fluctuation of crop evaporation coefficients with weather: a sensitivity analysis**. Irrigation Science, Berlin, v.15, p.1-7, 1994.

ARAÚJO, A. E. *et al.* **Cultivo do algodão irrigado**. Campina Grande: Embrapa, 2003. Disponível em: 58<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado/solos.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2013.

AVINA. Fundación. **Contexto da estratégia nacional**. Disponível em: <<http://www.avina.net/por/acciones-por-pais/paraguay/>>. Acesso em: 01 abr. 2013.

AZEVEDO, A. C. de; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Pallotti, 2004. 100 p.

BAILLE, M.; BAILLE, A.; DELMON, D. **Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops**. Agricultural and Forest Meteorology, 1994. n.71, 83-97 p.

BAILLE, M.; BAILLE, A.; LAURY, J. **Some comparative results on evapotranspiration of greenhouse ornamental crops, using lysimeters, greenhouse H₂O balance and LVTD sensors**. Acta Horticulturae, 1992. n.304, 199- 208 p.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 8.ed., Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. **Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2003. 849-856 p.

BISCARO, G.A. **Sistemas de Irrigação por Aspersão**. Dourados - MS: UFGD, 2009. 1-134 p.

BURT, C.M.; CLEMMENS, A.J.; STRELKOFF, T.S.; SOLOMON, K.H.; BLIESNER, R.D.; HARDY, L.A.; HOWELL, T.A.; EISENHAUER, D.E. **Irrigation**

performance measures: efficiency and uniformity. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1997. v.123, 423-442 p.

BRACAGLIOLI NETO, A. Brasiguaios: **Trajetórias migratórias e luta pela terra.** Dissertação de mestrado. Porto Alegre: UFRGS/PPG/Sociologia, 1991.

CAINELLI, V.H; ROBAINA, A.D.; CARLESSO, R.; DOTTO, C.R.D. **Desempenho e uniformidade da distribuição de água de um pivô central.** Ciência Rural, Santa Maria, 1997. v.27, n. 4, 35-40 p.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. **Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems.** J. Agric. Eng. Res. Silsoe Research Institute, 1998. n. 70, 355-365 p.

CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; TROIS, C. **Rede de estações meteorológicas automáticas para prover a necessidade de irrigação das culturas.** In: Modernización de riegos y uso de tecnologías de la información, 1., 2007, La Paz, Bolivia. Santa Maria - Rs: Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 1 - 11 p.

CASTIBLANCO, C.J.M. **Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água.** Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. 70 p.

CHICOTA, R. **Análise da variabilidade espacial de pontos amostrais da curva de retenção da água no solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2004. v.28, 585-596 p.

CHRISTOFIDIS, D. **Água: Gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil.** Brasília, DF, 2006. 18 p.

COELHO, R.D. **Contribuições para a Irrigação Pressurizada no Brasil.** Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. 192 p.

COLOMBO, A. **Pivô central.** In: MIRANDA, J.H. de; PIRES, RC. de M. Irrigação. Piracicaba; FUNEP, 2003. cap. 11 v.2, 209-258 p.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Sistema de Produção de Uva de Mesa no Norte do Paraná.** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005.

CORDEIRO, E.A. **Diagnóstico e manejo da irrigação na cultura do mamoeiro na região norte do estado do espírito santo.** Tese (Doutor) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Mg, 2006. 100 p.

COSTA, A. E. M. **Quantificação de atributos físicos de solos de várzea, relacionados com a disponibilidade de água, o espaço aéreo e a consistência do solo.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1993. 134 p.

COSTA, M.B. **Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (*Coffea canephora* L.) e na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no município de Pinheiros- ES.** Tese (Doutor) - Curso de Engenharia Agrícola, Departamento de Irrigação e Drenagem, Universidade de São Paulo, Piracicaba - Sp, 2005. 100 p.

CUENCA, R.H. **Irrigation system design: an engineering approach.** New Jersey: Prentice Hall, 1989. 552 p.

DOMÍNGUEZ, D.; SABATINO, P. **El conflicto por la tierra en la actualidad latinoamericana: del acceso a la tierra a la luchas por el territorio.** Regional de Becas CLACSO. 2008. Disponível em: <<http://biblioteca.clacso.edu.ar/ar/libros/becas/2008/deuda/doming.pdf>>. Acesso em: 07 abril 2013.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Roma : FAO, 1979. 306 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements.** Rome : FAO, 1977. 144 p.

DUKE, H.R.; HEERMANN, D.F.; DAWSON, L.J. **Appropriate depths of applications for scheduling center pivot irrigations.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, 1992. v.35, n.5, 1457-1467 p.

FACTBOOK, C.W. **Field Listing - Irrigated Land 2013.** Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2146.html>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

FACTBOOK, C.W. **Paraguay Economy Profile 2013.** Disponível em: <http://www.indexmundi.com/paraguay/economy_profile.html>. Acesso em: 10 abr. 2013.

FAO, F.A.O. **The state of food and agriculture.** 2007. Disponível em: <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1200e/a1200e00.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2013.

FOLEGATTI, M.V. *et al.*, **Gestão dos recursos hídricos e agricultura irrigada no Brasil.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011.

FRIZZONE, J.A.; DOURADO NETO, D. **Avaliação de sistemas de irrigação.** In: MIRANDA, J.M. DE ; PIRES, R.C. DE M (Org.). **Irrigação.** Jaboticabal: FUNEP, 2003. v. 2, 573-651 p.

GISLEROD, H.R.; SELMER-OLSEN, A.R.; MORTENSEN, L.M. **The effect of air humidity on nutrient uptake of some greenhouse plants.** Plant and Soil, 1987. n.102, 193-196 p.

GUERRA, A.F. **Adequação e manejo das irrigações por aspersão por pivô central no cerrado.** Disponível em:

<http://www.agronline.com.br/inc/imprimir_pagina.php?sessao=artigos&id=141&acao=1>. Acesso em: 08 maio 2013.

HEERMANN, D. F.; HEIN, P.R. **Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation systems**. Transactions of the ASAE, 1968. 11-15 p.

HEINEMANN, A.B.; FRIZZONE, J.A.; PINTO, J.M; FEITOSA FILHO, J.C. **Influência da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema pivô central**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 1998. v. 33, n. 9, 1497-1493 p.

JENSEN, M.E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph, Madison: ASAE, 1983. 829 p.

JONES, W.I. **The World Bank and Irrigation: a World Bank operations evaluation study**. World Bank, Washington, DC, 1995.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia, relações solo – planta**. São Paulo: Editora Ceres, 1979. 262 p.

KITAMURA, A.E.; CARVALHO, M.P; LIMA, C.G.R. **Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto**. Revista brasileira de ciência do solo, Viçosa, 2007. v. 31, n. 2, 361-369 p.

KLAR, A.E.; SANTANA, R. de C.; DUROHA, C. **Avaliação de sistemas de irrigação por pivô central usando difusores e reguladores de precisão usados e novos**. IRRIGA, Botucatu, 2001. v.6, n.1, 6 p.

KROL, M.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GÜNTNER, A. **Integrated modelling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: a general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brazil**. Journal of Hydrology, 2006. n.328, v.3-4, 417–431 p.

KUSS, R.C.R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - Rs, 2006.

LACERDA, N.B.; OLIVEIRA, T.S. **Agricultura irrigada e a qualidade de vida dos agricultores em perímetros do Estado do Ceará**. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, 2007. v. 38, n. 2, 216-223 p.

LEITÃO, M.M.V.B.R.; MOURA, M.S.B.; SALDANHA, T.R.F.C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; OLIVEIRA, G.M. **Balanco de radiação sobre um solo descoberto para quatro períodos do ano**. Revista de Ciência & Tecnologia, São Paulo, jun. 2000. v. 15, 57-64 p.

LIMA, J.; E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. Embrapa, 2008. 16 p. Disponível em: <http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/irrigacao_000fl7vsa7f02wyiv80ispcrr5frxoq4.pdf>. Acesso em: 05 maio 2013.

LOBELL, D.B.; ORTIZ-MONASTERIO, J. I. **Evaluating strategies for improved water use in spring wheat with CERES**. Agricultural Water Management, 2006. v.84, n.3, 249-258 p.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 358 p.

MASTALEREZ, J.W. **Environmental factors light, temperature, and carbon dioxide**. In: LANGHANS, R. W. A manual of greenhouse rose production. Michigan, 1987. 147-170 p.

MARTIN, D.L.; KINCAID, D.C.; LYLE, W.M. **Design and operation of sprinkler systems**. In: HOFFMAN, G.J.; EVANS, R.G.; JENSEN, M.E.; MARTIN, D.L.; ELLIOT, R.L. **Design and operation of farm irrigation systems**. 2nd ed. St. Joseph: ASABE, 2007. 557- 631 p.

MENDONZA, C.J.C.; FRIZZONE, J.A. **Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, Ce. 2012. v. 6, n.3, 184-197 p.

MERCOPRESS. **Paraguay economy poised to expand 11.3% in 2013 propped by agriculture**. Disponível em: <<http://en.mercopress.com/2012/12/04/paraguay-economy-poised-to-expand-11.3-in-2013-propped-by-agriculture>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J.; ALFARO, J. **Irrigation system evaluation and improvement**. Logan: Utah State University, 1973.

MUKHERJEE, A.; *et al.* **Revitalizing Asia's irrigation: to sustainably meet tomorrow's food needs**. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute; Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009. 39 p.

NEW, L.; FIPPS, G. **Center pivot irrigation**. Texas A&M University, 1995. Disponível em: <<http://repository.tamu.edu>>. Acesso em: 25 abr. 2013.

NUNES, V.S. **Agricultura irrigada x Saúde ambiental: existe um conflito**. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2001/artigo.2004-12-07.2574801936/>>. Acesso em: 03 de abril de 2013.

OLIVEIRA, A.S.; *et al.* **Determinação do tempo térmico para o desenvolvimento de mudas de eucalipto na fase de enraizamento**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, SP, 2012. v. 16, n.11, 1223-1228 p.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M.V.; ZOLIN, C.A.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M.; VIEIRA JOSÉ, J. **Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o Censo Agropecuário de 2006**. Irriga, Botucatu, 2011. v. 16, n. 2, 163-176 p.

PAZ, V.P.S; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C. **Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2000. v.4, n.3, 465-473 p.

PEDRO VAZ, C.M.; MATSURA, E.E.; TORRADO, P.V.; BACCHI, O.O.S. **Validação de 3 equipamentos TDR (Reflectometria no domínio do tempo) para a medida de umidade dos solos**. Comunicado Técnico, EMBRAPA, São Carlos, SP, 2004. 4 p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ), 1997. 183 p.

PIRES, R.C.M. *et al.* Agricultura Irrigada. **Apta - Agência Paulista de Tecnologia Dos Agronegócios**, São Paulo, 2008. 99-111 p.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, PR: Salesward-discovery, 1996. 446 p.

REZENDE, R.; Frizzone, J.A.; Gonçalves, A.C.; Freitas, P.S. **Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. 1998. v.2, n.3, 257-261 p.

RITCHIE, J.T.; JONHSON, B.S. **Soil and plant factors affecting evaporation**. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Ed.). Irrigation of agricultural crops. Madison: American Society of Agronomy, 1991. 363-390 p.

RIZZATTI, G.S. **Consumo e custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, sob dois manejos de irrigação, em plantio direto e convencional**. Dissertação (Mestre) - Curso de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita, Jaboticabal - Sp, 2007. 55 p.

RODRIGUES, T.R.I.; BATISTA, H.S.; CARVALHO, J.M; GONÇALVES, A.O.; MATSURA, E.E. **Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, 2001. v.5, n. 2, 187-191 p.

RODRIGUES, M. **Manejo da irrigação da soja a partir da evapotranspiração máxima da cultura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. 2001. 72 p.

ROMERO, S. **Boom Times in Paraguay Leave Many Behind**. The New York Times. Disponível em:
<http://www.nytimes.com/2013/04/25/world/americas/boom-times-in-paraguay-leave-many-behind.html?pagewanted=all%_r=0>. Acesso em: 05 abr. 2013.

SALES, E.G.M.; OLIVEIRA, M.H.M. de; SOUZA, F. **Avaliação de um sistema de irrigação localizada por gotejamento na fazenda frutacor 1 em Limoeiro do Norte/Ceará.** In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. Anais. Fortaleza: CONIRD, 2001. 43-47 p.

SCIOLLA, B.F. **Dossier técnico y informativo:** Cultivos de Invierno. Paraguay: Campo Agropecuario, 01 abr. 2013.

SEDYAMA, G.C.; RIBEIRO, A.; LEAL, B.G. **Relação clima-água-planta.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998, Lavras. Manejo da irrigação. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. 47-53 p.

SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia aplicada à irrigação.** In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. Irrigação, 1. Piracicaba: SBEA. 2001. 63-120 p.

SILVA, E.M. da *et al.* **Manejo de irrigação por tensiometria para culturas de grãos na região do Cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. 54 p.

SILVA, M.T.; AMARAL, J.A.B. **Estimativa da evapotranspiração e coeficientes de cultivo do amendoim irrigado pelo método do balanço hídrico no solo.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, 2008. 67-76 p.

SOUZA, A.E.C. **Avaliação de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da manga (*mangifera indica* L.).** CENTEC, CE, 2003. 21 p.

SOUZA, M.B.A. *et al.* **Análise técnica da cafeicultura irrigada por pivô central no norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia.** Engenharia Na Agricultura, Viçosa, 2001. 450-458 p.

SOUZA, J.A.A. de; MEDEIROS, S.S.; NETO, D.E.; RAMOS, M.M; MANTOVANI, E.C. **Efeito da uniformidade de distribuição de água no consumo de água e energia em um sistema de irrigação do tipo pivô central.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari, MG. Anais. Uberlândia: UFU. 2002b. 105-109 p.

TARJUELO, J.M. **El riego por aspersión y su tecnología.** Madrid: Mundi-Prensa, 1995. 569 p.

TEIXEIRA, A. H. de C. **Determinação regional atual da evapotranspiração de culturas irrigadas e da vegetação natural da bacia do rio São Francisco utilizando sensoriamento remoto e equação Penman-Monteith.** 2010 v. 2, n. 5, 1287-1319 p.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E.E.; CARDOSO, J.L. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio.** Universidade Estadual de Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, 2002. 45 p.

TIMM, L.C. *et al.* **Manejo da irrigação na cultura do pessegueiro.** Manual técnico. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2007. 110 p.

TOGNON, A.A. **Propriedades físicas hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1991. 67 p.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. **Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines**. Water Resour. Res., Washington, 1980. v. 16, 574-582 p.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1992. 375 p.

TUCCI, C.E.M. **Existe crise da água no Brasil?** Disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/corpo docente/tucci/publicacoes/EXISTE CRISE DA Agua.pdf>. Acesso em 20 de abril de 2013.

TURCHIELLO, M.S. **Manejo da irrigação pelo método Penmam Monteith na cultura da videira**. Dissertação (Mestre) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2011. 85 p.

URACH, F.L. **Estimativa da Retenção de água nos solos para fins de irrigação**. Dissertação (Mestre) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2007. 78 p.

VASCONCELOS, E. B. de. **Levantamento dos atributos físicos e hídricos de três solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado. UFPel-FAEM, Pelotas, 1993. 79 p.

VIERO, V.C. **Tecnologias de informação e comunicação no contexto rural brasileiro: o modelo de monitoramento agrícola do Sistema Irriga®**. Dissertação (Mestre) - Curso de Pós Graduação em Extensão Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - Rs, 2009. 99 p.

VIERO, V.C.; SOUZA, R.S. **Comunicação rural on-line: promessa de um mundo sem fronteiras**: estudo de caso do modelo de monitoramento agrícola do Sistema Irriga® da Universidade Federal de Santa Maria. In: **Sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural**, 46., 2008, Rio Branco - Acre. Rede de estações meteorológicas automáticas para prover a necessidade de irrigação das culturas. Santa Maria - Rs: Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 1 - 14 p.

XEVI, E.; KHAN, S. **A multi-objective optimisation approach to water management**. Journal of Environmental Management. 2005. v.77, n.4, 269–277 p.

ZAMBERLAN, J.F.; ZAMBERLAN, C.O. **Irrigação: Gerenciamento de custos como ferramenta na tomada de decisão**. Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, 2011. v.4, n.3, 391-408 p.

WILLIAMS, L.E; MATTHEWS, M.A. Grapevine. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison : American Society of Agronomy, 1990. 1019-1055 p.

WITHERS, B.; VIPOND, S. **Irrigação: projeto e prática**. Tradução de Francisco da Costa Verdade. São Paulo: Editora EPV, 1977. 339 p.